

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO DE LA VIABILIDAD SOCIO-AMBIENTAL DEL
HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO PRODUCIDO A
PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL.**

TATIANA ALEJANDRA LITARDO LÓPEZ
(tacaju124@yahoo.com)

DIRECTOR: Ph. D. M.Sc. Ing. ÁLVARO GONZALO XAVIER AGUINAGA BARRAGÁN

(alvaro.aguinaga@epn.edu.ec)

CODIRECTOR: Msc. Ing. CÉSAR ALFONSO NARVÁEZ RIVERA

(cesar.narvaez@epn.edu.ec)

Quito, Marzo 2014.

DECLARACIÓN

Yo Tatiana Alejandra Litardo López, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

En la ciudad de Quito, a los 6 días del mes de Marzo del 2014.

Tatiana Alejandra Litardo López

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Tatiana Alejandra Litardo López, bajo nuestra supervisión.

Ph. D. Ing. ÁLVARO AGUINAGA BARRAGÁN
DIRECTOR DEL PROYECTO.

Msc. CÉSAR NARVAEZ
COODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A la República del Ecuador.

A la mejor universidad del país, Escuela Politécnica Nacional.

Al Doctor Álvaro Aguinaga. Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional por ser una guía y un amigo en la realización del presente trabajo.

Al personal docente y administrativo de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, en especial al Ingeniero César Narváez por depositar su confianza en mí para la realización del presente trabajo.

A mis padres y hermanos, por su amor y paciencia.

A compañeros y amigos.

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por darme todo su amor, motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Mi familia, Julio L, Carmen, Carlita, Julio César, Gabriel, Sasha.

CONTENIDO

	pág.
DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABLAS.....	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
PRESENTACIÓN	XIII
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS	3
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
CAPÍTULO2: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 EL HIDRÓGENO.....	5
2.1.1 QUE ES EL HIDRÓGENO	5
2.1.2 PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO.....	6
2.1.3 COMPARACIÓN DEL HIDRÓGENO Y OTROS COMBUSTIBLES.	8
2.2 USOS DEL HIDRÓGENO.....	10
2.3 ESTADO DEL ARTE	12
2.2 EFECTOS DEL HIDRÓGENO SOBRE EL AMBIENTE	16
2.3 ESTABILIDAD AMBIENTAL.....	19
2.4 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO, A PARTIR DE ENER- GÍAS RENOVABLES	21
2.4.1 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO, A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR.....	36
2.5 ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD.	38

2.6. MARCO LEGAL	42
CAPÍTULO 3: DESARROLLO	45
3.1 DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA A NIVEL MUNDIAL Y EN EL ECUADOR.....	45
3.1.1 DIAGNÓSTICO A NIVEL MUNDIAL.....	45
3.1.2 DIAGNÓSTICO EN EL ECUADOR.....	50
3.2. ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR.	57
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD SOCIO-AMBIENTAL DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN EL ECUADOR	68
4.1 MANEJO ADECUADO DEL USO DE HIDRÓGENO.	68
4.2 EL HIDRÓGENO SUS IMPACTOS, SOSTENIBLE Y VIABLE.....	75
4.2.1 FODA..	81
4.3 INTRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO EN EL ECUADOR	86
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
5.1. CONCLUSIONES.....	91
5.2. RECOMENDACIONES.	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

LISTA DE FIGURAS

pág.

CAPÍTULO 2.

FIGURA N°2. 1. ÁTOMO DE HIDRÓGENO Y ROTACIÓN DEL SPIN EN ANTI-PARALELO	5
FIGURA N°2. 2. LLAMAS DE HIDROCARBUROS (FLECHA ROJA) VS LLAMAS DE HIDRÓGENO (CÍRCULO AZUL).....	7
FIGURA N°2. 3. INCREMENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO ₂ EN LA ATMÓSFERA.....	18
FIGURA N°2. 4. EFECTOS DE GENERACIÓN Y COMBUSTIÓN DEL HIDRÓGENO EN EMISIONES DE CARBONO	19
FIGURA N°2. 5. RECURSOS QUE CONTIENEN HIDRÓGENO.....	22
FIGURA N°2. 6. FUENTES DE ENERGÍA SOSTENIBLE.....	22
FIGURA N°2. 7. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO.	23
FIGURA N°2. 8. PROCESOS SOSTENIBLES DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO.	24
FIGURA N°2. 9. REFORMADO DE VAPOR DE AGUA.....	25
FIGURA N°2. 10. PROCESO DE ELECTRÓLISIS.	26
FIGURA N°2. 11. REACCIONES EN UN ELECTROLIZADOR. (ADAPTADO SANDOVAL, 2006).....	27
FIGURA N°2. 12. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO POR ELECTRÓLISIS.	28
FIGURA N°2. 13. USOS DEL HIDRÓGENO.....	29
FIGURA N°2. 14. PROCESO SOSTENIBLE DE DES-CARBONIZACIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES.	30
FIGURA N°2. 15. PRODUCCIÓN TERMOQUÍMICA DE HIDRÓGENO A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y AGUA.....	31
FIGURA N°2. 16. ESQUEMA DE UNA PLANTA IGCC CON CAPTURA Y SECUESTRO DE CO ₂	32
FIGURA N°2. 17. DESCOMPOSICIÓN DE SULFURO DE HIDRÓGENO.....	33
FIGURA N°2. 18. SISTEMA DE CONVERSIÓN DE BIOMASA.	35
FIGURA N°2. 19. EXTRACCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE DESECHOS.	36
FIGURA N°2. 20. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO, A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR.	38
FIGURA N°2. 21. ESQUEMA DE LA “ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO”.....	39

CAPÍTULO 3.

FIGURA N°3. 1. MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL (AÑOS 1980 Y 2010)	46
FIGURA N°3. 2. MATRIZ DE ENERGÍA ELÉCTRICA MUNDIAL. (AÑOS 1980 Y 2010).....	47

FIGURA N°3. 3. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPO DE FUENTE.....	48
FIGURA N°3. 4. PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DEL RECURSO RENOVABLE EN ENERGÍA (2010).....	49
FIGURA N°3. 5. OFERTA ENERGÉTICA EN EL ECUADOR (2012).....	52
FIGURA N°3. 6. IMPORTACIÓN ENERGÉTICA DEL ECUADOR. (2012)	52
FIGURA N°3. 7. EXPORTACIÓN DE PETRÓLEO Y DERIVADOS EN EL ECUADOR (2012).....	53
FIGURA N°3. 8. DEMANDA INTERNA POR COMBUSTIBLE EN EL ECUADOR (2012).....	54
FIGURA N°3. 9. DEMANDA DE DERIVADOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	54
FIGURA N°3. 10. GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL ECUADOR.....	55
FIGURA N°3. 11. GENERACIÓN DE ENERÍA NETA EN EL MERCADO ELÉCTRI-CO MAYORISTA.....	56
FIGURA N°3. 12. MAPA SOLAR DE ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.....	62
FIGURA N°3. 13. POTENCIAL EÓLICO BRUTO DEL ECUADOR.....	64
FIGURA N°3. 14. POTENCIAL EÓLICO FACTIBLE A CORTO PLAZO EN EL ECUADOR.....	65
FIGURA N°3. 15. TRANSFORMACIÓN DE BIOGAS.....	66
 CAPÍTULO 4	
FIGURA N°4. 1. SEÑALIZACIÓN DE MATERIALES PELIGROSO PARA FACILIDADES ESTACIONARIAS.....	75
FIGURA N°4. 2. ESQUEMA DE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO, A PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	80
FIGURA N°4. 3. ESQUEMA DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES, PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE.....	81
FIGURA N°4. 4. CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO VS ENERGÍA NECESARIA HASTA EL 2050.....	88
FIGURA N°4. 5. CRECIMIENTO POBLACIONAL VS INS introducción DE HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN EL ECUADOR.	89
FIGURA N°4. 6. ENERGÍA ELÉCTRICA NECESARIA VS INTRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN EL ECUADOR.	90

LISTA DE TABLAS

pág.

CAPÍTULO 2

TABLA N°2. 1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL HIDRÓGENO.....	6
TABLA N°2. 2. COMPARACIÓN DE COMBUSTIBLES.....	8
TABLA N°2. 3. COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE COMBUSTIÓN DE HIDRÓGENO, VAPOR DE GASOLINA, GAS NATURAL	9
TABLA N°2. 4. GENERACIÓN DE HIDRÓGENO, MEDIANTE GAS NATURAL Y SEPARACIÓN DE AGUA.....	17
TABLA N°2. 5. PRECIOS PREFERENCIALES DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN EL ECUADOR.....	43

CAPÍTULO 3

TABLA N°3. 1. INFORMACIÓN GENERAL DEL MERCADO ELÉCTRICO ECUATORIANO. (2012).....	56
--	----

CAPÍTULO 4

TABLA N°4. 1. MANEJO DE FUGAS POR DISPOSITIVOS DE DESCOMPRESIÓN.....	69
TABLA N°4. 2. MANTENIMIENTO Y MEDIDAS EMERGENTES.....	70
TABLA N°4. 3. REGULADORES CON MANÓMETROS.....	70
TABLA N°4. 4. CONEXIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS A TIERRA.....	71
TABLA N°4. 5. MANEJO ADECUADO DE LOS CIINDROS DE GAS HIDRÓGENO	71
TABLA N°4. 6. MANEJO ADECUADO AL MOVER LOS CILINDROS DE GAS HIDRÓGENO	72
TABLA N°4. 7. MEDIDAS DE ALMACENAMIENTO ESPECIAL.....	73
TABLA N°4. 8. VENTILACIÓN Y ALARMAS.....	74
TABLA N°4. 9.IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO A PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES	76
TABLA N°4. 10. DATOS GENERALES DE CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO, ENERGÍA NECESARIA HASTA EL 2050 Y LA INTRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA DEL HIDRÓGENO COMO VECTOOR ENERGÉTICO EN EL ECUADOR....	87

RESUMEN

El uso de los tradicionales vectores energéticos, basados en combustibles fósiles, ha producido impactos graves y perjudiciales en el medio ambiente por la emisión de gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global que sufre nuestro planeta. Además, la disminución de las reservas mundiales de petróleo llevará en pocos años a una crisis energética. Por esto es necesario que se transforme la matriz energética de los países hacia sistemas de producción de energía limpia, eficiente, confiable y con bajas emisiones de carbono, haciendo que el proceso de cambio de aprovechamiento de los recursos sea sostenible.

El futuro de la energía pasa por hidrógeno, el combustible más limpio que existe, que transformará las relaciones sociales y económicas en todo el mundo hacia la conquista de una economía energética sostenida.

En este estudio se presenta de forma general las alternativas que el Ecuador tiene para generar energía utilizando hidrógeno como vector energético, mediante métodos sostenibles y seguros que pueden ser aplicados según los recursos presentes en las zonas de nuestro país, realizando una evaluación de los efectos en el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE: hidrógeno / vector energético / sistemas sostenibles.

ABSTRACT

The use of traditional energies based on fossil fuels has caused serious and adverse impacts on the environment by the emission of greenhouse gases responsible for global warming to our planet. In addition, the dramatic decline in world oil reserves will lead to unprecedented energy crisis in a few years. Therefore, it is necessary to change the energy matrix worldwide to clean, efficient, reliable and low-carbon energy systems. This will make the exploitation of the resources sustainable.

It appears that the future of energy is through hydrogen. It is the cleanest fuel, and it can potentially transform the social and economic relationships around the world in order to achieve a sustained energy economy. Therefore, this study presents general alternatives of Ecuador to generate energy using hydrogen as an energy vector. This is made through sustainable and safe methods that can be applied depending on the resources of every region of our country. Carrying out an assessment of the effects on the environment, it is concluded that such energy system is fully environmentally and economically viable.

KEYWORDS: **hydrogen / energy vector / sustainable systems.**

PRESENTACIÓN

El presente proyecto consta de cinco capítulos distribuidos de la siguiente forma: en el primer capítulo se expone un análisis introductorio sobre la problemática ambiental causada por el uso de combustibles tradicionales para generar energía eléctrica y el impacto que las emisiones generadas ocasionan, siendo una alternativa el uso de hidrógeno como vector energético en el país. En este capítulo también se incluyen los objetivos que se quieren alcanzar con este estudio y porque debe realizarse, en la justificación. En el siguiente capítulo se presentan los conceptos básicos referentes al hidrógeno como las propiedades y usos más importantes.

En el tercer capítulo se elabora un diagnóstico sobre la generación de energía a nivel mundial y nacional, los efectos del hidrógeno en el ambiente y los métodos de producción de hidrógeno a partir de energías renovables, junto con las medidas de manejo ambiental adecuadas para el uso del hidrógeno en estos sistemas así como el papel que desempeña la economía del hidrógeno y su impacto en la sociedad. Por último se realiza el análisis general de la viabilidad socio-ambiental del hidrógeno como vector energético en el Ecuador, culminando el proyecto con conclusiones y recomendaciones en el quinto capítulo.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Actualmente en el Ecuador la matriz energética con la que se proporciona electricidad a la población está basada en la explotación del petróleo, conjunta con la generación de plantas hidroeléctricas. En el país se ha impulsado la implementación de ocho proyectos hidroeléctricos hasta el 2021, como lo son Coca- Codo Sinclair, Sopladora, Toachi Pilatón, Minas San Francisco, Delsitanisagua, Mazar Dudas, Mandariacu y Quijos; con una potencia instalada de 2.772,5 MW, con una inversión aproximada de USD 4'574.000, 64.¹

La política estatal de cambiar la matriz energética se evidencia en el Plan Nacional del Buen Vivir (2009-2013), cuyo objetivo 4 garantiza los derechos de la naturaleza y promueve un ambiente sano y sustentable. Además la política 4.3 de este objetivo busca diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia energética y una mayor participación de energías renovables sostenibles; para esto se aplicarán a nivel nacional esquemas tarifarios que fomenten la eficiencia energética y la generación de electricidad de fuentes renovables o alternativas, además se busca reducir gradualmente el uso de combustibles fósiles en vehículos, embarcaciones y generación termoeléctrica, conjuntamente, se promueve diversificar y usar tecnologías ambientalmente limpias y energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto en la producción. Al mismo tiempo está política estatal está plasmada en el artículo 413 de la Constitución de la República del 2008.²

Debido a la necesidad de generar energía eléctrica para satisfacer las necesidades en la población, se ha hecho uso de combustibles fósiles, que han generado emisiones de gases efecto invernadero (CO₂, NOx, SOx), a nivel mundial.³ Aunque la humanidad ha logrado un gran avance gracias a los combustibles fósiles no

-
1. MH, YP, Prensa Latina, "Ecuador será potencia en generación eléctrica, según ministro Albornoz", 2012.
 2. SENPLADES, 2013, "Objetivos para el buen vivir", <http://plan.senplades.gob.ec/politicas-y-estrategias4>.
 3. M.Sc Quintero Q.B, 2012, "Hidrógeno renovable: vector de energía renovable para la producción sustentable de energía eléctrica a través de celdas de combustibles", Revista VirtualPro. Procesos Industriales, ISSN 1900-6241 (122), 2.

renovables como el carbón, petróleo y gas natural, el impacto al medio ambiente ha sido muy alto, como derrames de petróleo, afección al medio biótico y abiótico, entre otros que se van produciendo en serie. Otras fuentes de impacto son el empleo de maquinaria, el transporte, la minería, la construcción, los cuales también provocan emisión de gases efecto invernadero y de contaminantes líquidos o gaseosos. En general la clase, cantidad y toxicidad de los desechos producidos varían según el proceso de producción, la forma de manipularlos y aislarlos del medio ambiente⁴. Por otro lado las hidroeléctricas tienen impactos como el descenso del flujo del agua en el embalse, lo cual afecta a los pantanos en épocas de sequía, acumulación de sedimentos en la presa, bloqueo de rutas de migración de peces, etc.⁵

Por lo tanto, para lograr el cambio de la matriz energética hacia una producción más limpia, logrando que la misma sea sostenible, viéndolo como un “Proceso de cambio en el cual la explotación de los recursos, la orientación de la evolución tecnológica y la modificación de las instituciones estén acordes y acrecienten el potencial actual y futuro para satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas”⁶, se propone realizar este tipo de estudios, para mejorar la calidad de vida del Ecuador, mediante la generación de energía renovables, combinadas a la energía del hidrógeno como combustible. El hidrógeno arde, produciendo vapor de agua, sin presencia de dióxido de carbono a diferencia de la gasolina o el gas natural. Además al hidrógeno hay que producirlo, a partir de una fuente de energía primaria, por lo que se lo considera como “vector energético” debido a que almacena energía de tal manera que pueda liberarse posteriormente de forma controlada.⁷

En este trabajo se analizará la viabilidad socio-ambiental del hidrógeno como vector energético en el país, determinando las características, uso y estado de arte, junto con una evaluación de los efectos en el medio ambiente, los métodos de producción, el manejo adecuado del mismo, analizando según las zonas del Ecuador, como se

-
4. Gho C. “Impacto Ambiental y generación eléctrica”.
 5. L. Krueger, V. President, (1999), “Overview of First Solar’s Module Collection and Recycling Program”,
 6. Burbano H, 2000, “Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental. Aproximación desde la naturaleza y la sociedad”, Graficolor, Pasto, Colombia.
 7. Brey S.J, 2009, “Hidrógeno y pilas de combustible: seguridad y sostenibilidad energética”, Revista Ambiente Vol. (1).

puede producir hidrógeno localmente, concluyendo si es viable o no la implementación de este tipo de sistemas en base a hidrógeno.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

- Evaluar la viabilidad socio-ambiental del hidrógeno como vector energético producido a partir de energías renovables en el Ecuador.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico actual del sistema energético a nivel mundial y en el Ecuador.
- Determinar si el sistema es social y ambientalmente viable.
- Generar interés en el uso del hidrógeno, como una alternativa para disminuir las emisiones de gases efecto invernadero.
- Aportar al cambio de la matriz energética en el país.
- Contribuir al mejoramiento de la calidad de vida del Ecuador, mediante la generación de energías alternativas.

1.2 JUSTIFICACIÓN

- Es necesario contribuir al cambio de la matriz energética del Ecuador por ser una política de estado.
- El hidrógeno es el combustible ideal ya que es abundante, renovable, de combustión limpia ya que, en ésta, genera calor y vapor de agua. A partir de estos productos de combustión se puede generar electricidad. Además el hidrógeno no es tóxico, no es cancerígeno, sus productos de combustión no son peligrosos, no tiene auto ignición, no es radioactivo, no se descompone, es mucho más liviano que el aire y se disipa rápidamente en el mismo.

- El hidrógeno también tiene un contenido de energía equivalente a 0.34 litros de petróleo por metro cúbico.⁸
- La ubicación del Ecuador favorece la aplicación de energías renovables, entre estas la fotovoltaica, ya que anualmente se recibe 4200 KW hora al año, la misma que combinada a la energía producida por el hidrógeno, producen energía limpia.
- En el ámbito social, es de gran aporte para ayudar a comunidades con difícil conexión a la red eléctrica.
- Abastecer de energía alternativa a la comunidad en general, cuando exista alta demanda del consumo de energía proporcionada por la red y cuando el suministro eléctrico decaiga, de una manera local.
- Cada región puede producir hidrógeno que necesite a partir de las fuentes primarias de las que disponga.
- El gobierno actual da el apoyo al desarrollo de fuentes energéticas renovables, que contribuyan a crear un modelo sustentable de generación de energía eléctrica.

8. United Kingdom Hydrogen Association (UKHA), "Hydrogen Safety UKHA Fact Sheet Number 2", GIBC, Mulgrave Terrace, Gateshead, Tyne & Wear, NE8 1AN

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

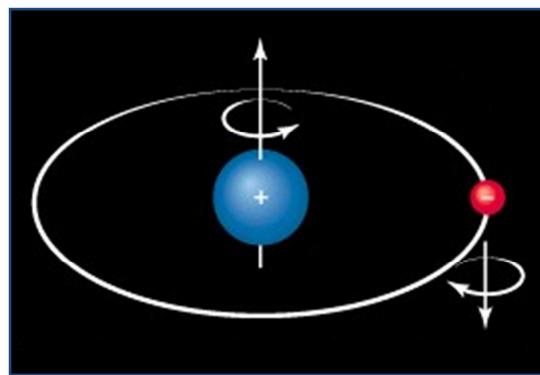
2.1. EL HIDRÓGENO

2.1.1. QUE ES EL HIDRÓGENO.

El hidrógeno es el elemento químico más abundante en el universo y el tercero más abundante en la tierra, presente en la naturaleza como un gas, en forma molecular o iónica; se encuentra combinado en su mayor parte formando agua; no hay hidrógeno libre, la corteza terrestre está formada en su mayoría por oxígeno, silicio, aluminio y otros elementos menores.⁹

La molécula de hidrógeno existe en dos formas, distinguidas por la rotación del spin nuclear, individual de cada átomo. Las moléculas con spin en la misma dirección son llamadas orto-hidrógeno, mientras que las moléculas que se encuentran con el spin en la dirección opuesta son llamadas para-hidrógeno. La forma de la molécula no influye en el peligro asociado al uso del hidrógeno.¹⁰(Ver Figura Nº2.1)

FIGURA N°2. 1. ÁTOMO DE HIDRÓGENO Y ROTACIÓN DEL SPIN EN ANTI-PARALELO.



FUENTE: Martínez, A., "La Mecánica Cuántica. Espectrocopías de resonancia magnética I", 2009

El hidrógeno no es una fuente primaria de energía, ya que no se encuentra libre en la naturaleza, como los recursos naturales, para separar hidrógeno se necesita

-
9. Gutiérrez J.L, 2005, "El Hidrógeno, Combustible del Futuro", Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 99.
 10. National Aeronautics and Space Administration, 2005, "Safety standard for hydrogen and hydrogen systems. Guidelines for Hydrogen System Design, Materials Selection, Operations, Storage, and Transportation", Safety and Risk Management Division.

energía, por lo cual no se considera a esta una fuente primaria sino un vector energético, es decir, un portador de energía.

2.1.2. PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO.

Se caracteriza por ser un gas incoloro, inodoro, insípido, no presenta toxicidad y es altamente inflamable y reactivo; es el elemento de menor masa atómica y es más liviano que el aire; presenta un bajo calor de vaporización y posee la más alta energía de combustión por unidad de masa (poder calórico) respecto a otros combustibles. Otras características se presentan en la Tabla 2.1.

TABLA N°2. 1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL HIDRÓGENO.

PROPIEDAD	VALOR
Color	Incoloro
Olor	Inodoro
Sabor	Insípido
Toxicidad	No tóxico
Peso Molecular	2,016 g/mol
Temperatura de ebullición (1atm)	-252,8°C
Temperatura crítica	-239,9°C
Presión Crítica	12,98 atm
Densidad del gas a 20°C, 1atm	0,005229 lb/ft ³
Densidad del líquido a 1atm	4,23 lb/ft ³
Mezcla estequiométrica en el aire	29 %Vol.
Límite de inflamabilidad en el aire	4-75 %Vol.
Límite de detonación en el aire	18-60%Vol.
Energía mínima de ignición en el aire	20 µJ
Temperatura de auto-ignición	585° C
Temperatura de llama en el aire	2045° C
Radio de expansión, Líquido a Gas (20°C)	1 a 848

FUENTE: United Kingdom Hydrogen Association (UKHA)

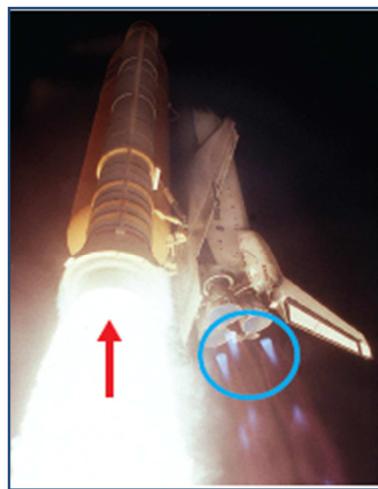
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

El hidrógeno es el más ligero de los elementos de la tabla periódica, en su estado gaseoso a temperatura ambiente tiene mucha menos densidad que el aire, y se difunde en el mismo con mucha más rapidez que otros gases combustibles.

Las propiedades físicas más importantes relacionadas con el peligro del hidrógeno gaseoso son la inflamabilidad y la explosividad, debido a que se puede formar una mezcla inflamable con el aire, en un amplio rango de 4% a 75%,

necesitando un bajo consumo de energía para encender la mezcla hidrógeno-aire, produciendo una flama casi invisible de color azul como se puede apreciar en la figura N°2.2. Mientras que la detonación de una fuente de ignición de baja energía es posible en mezclas de hidrógeno-aire del 18% a 60% Vol. que se mezcle bien y confinado.^{11,12}

FIGURA N°2. 2. LLAMAS DE HIDROCARBUROS (FLECHA ROJA) VS LLAMAS DE HIDRÓGENO (CÍRCULO AZUL).



FUENTE: Fact Sheet Series, "Hydrogen Safety", Vol 1.

Por otro lado algunas de las propiedades químicas del hidrógeno son: peso atómico de 1.00974 una, estado de oxidación +1,-1, captura un electrón a fin de producir el anión H⁻ completando su nivel de valencia, las combinaciones con los metales alcalinos y alcalinos téreos con excepción del Be y Mg son esencialmente iónicos, mientras que con los no metales su enlace es de tipo covalente, tiene una estructura cristalina hexagonal, es soluble en agua aunque la solubilidad no es afectada por la temperatura, reacciona con la mayoría de los elementos.¹³

-
- 11. United Kingdom Hydrogen Association (UKHA), "Hydrogen Safety UKHA Fact Sheet Number 2", GIBC, Mulgrave Terrace, Gateshead, Tyne & Wear, NE8 1AN..
 - 12. Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study", Los Alamos. National Laboratory, Vol. ESH13-401-sb-8/00, 5,6
 - 13. Cando P.H y Quelal M.H, 2012, "Construcción y adaptación de un sistema generador de gas de hidrógeno para suministrarlo a un motor de combustión interna", Tesis de pregrado, Director: Ing. Mario Granja, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador..

2.1.3. COMPARACIÓN DEL HIDRÓGENO Y OTROS COMBUSTIBLES.

El hidrógeno a diferencia de los combustibles tradicionales no es un combustible primario, sino más bien es un portador de energía, por lo que hay que producirlo a partir de otras fuentes de energía. Debido a que tiene energía química acumulada, esta puede ser liberada por procesos de combustión. Estos procesos consisten en reacciones en presencia de oxígeno en el aire, pasan a un estado oxidado, liberando energía asociada a la reacción química de oxidación.¹⁴

Algunas propiedades de la combustión del hidrógeno respecto a otros combustibles como metano, propano y gasolina se muestran en la Tabla N°2.2

TABLA N°2. 2. COMPARACIÓN DE COMBUSTIBLES.

PROPIEDAD	HIDRÓGENO	METANO	PROPANO	GASOLINA
	(H ₂)	(CH ₄)	(C ₃ H ₆)	(-CH ₂ -)
Poder calorífico (MJ/Kg)	120	50	46,3	44,5
Temperatura de auto-ignición (°C)	585	540	487	228-501
Temperatura adiabática de la llama en aire (°C)	2,045	1,875	1,925	2,197
Límites de ignición en aire (% en vol.)	4-75	5,3-15	2,1-10	1,0-7,6
Propagación de la llama en aire (m/s)	2,65	0,4	-	0,4
Coeficiente de difusión en aire (cm ² /s)	0,61	0,18	-	0,05
Toxicidad	No	No	-	alta a conc>500ppm
ΔV en la reacción con oxígeno	Negativo	Negativo		Positivo

FUENTE: Gutiérrez J.L, "El Hidrógeno, Combustible del Futuro",2005.

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Por otro lado la diferencia más importante del hidrógeno con los combustibles tradicionales, es que el hidrógeno solo deja como subproducto de la combustión

14. Américo H.P y Arnoldo V., "Hidrógeno, combustible del futuro: ¿Por qué, cómo u dónde?".

vapor de agua, mientras que los otros producen CO₂ y CO. Otros importantes que deben considerarse sobre el hidrógeno: no es cancerígeno, no es tóxico, no produce productos de combustión peligrosos, no es contaminante, tiene un contenido de energía equivalente a 0.34 L de petróleo/m³, no se auto-inflama, no es radioactivo, no se descompone, es mucho más liviano que el aire y se disipa rápidamente en el mismo.¹⁵

El hidrógeno presenta una alta velocidad de propagación de la llama en aire y temperatura de auto-ignición, lo cual es favorable para las condiciones de almacenamiento, además de un alto poder calórico y una baja toxicidad respecto de la gasolina.

De igual manera se puede observar otras diferencias entre el vapor de gasolina y el gas natural en la Tabla N°2.3, en los cuales se constata que el límite de explosividad en el aire del hidrógeno tiene un amplio rango de 18.3% a 59% con valores superiores al vapor de gasolina y el gas natural, de igual manera se necesita muy poca cantidad de energía para empezar la ignición con un valor de 0.02 mJ alcanzando temperaturas de llama 2045°C, considerando que se necesita una porción de fracción estequiométrica hidrógeno-aire del 29%.

TABLA N°2. 3. COMPARACIÓN DE PROPIEDADES DE COMBUSTIÓN DE HIDRÓGENO, VAPOR DE GASOLINA, GAS NATURAL.

PROPIEDAD	HIDRÓGENO	VAPOR DE GASOLINA	GAS NATURAL
Límite de inflamabilidad en aire	4% -74%	1,4% - 7,6%	5,3%-15%
Límite de detonación en aire	18,3% - 59,%	1,1% -3,3%	5,7%-%-14%
Energía de ignición mJ	0,02	0,2	0,29
Temperatura de llama en aire °C	2045	2197	1875
Mezcla estequiométrica (mayor facilidad de ignición en aire)	29%	2%	9%

FUENTE: The National Hydrogen Association, Department of Energy. United Stated of America, EERE, "Hydrogen Safety".
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

15. United Kingdom Hydrogen Association (UKHA), "Hydrogen Safety UKHA Fact Sheet Number 2", GIBC, Mulgrave Terrace, Gateshead, Tyne & Wear, NE8 1AN.

2.2 USOS DEL HIDRÓGENO.

El hidrógeno representa el 75% de la masa del universo. En la Tierra el hidrógeno se encuentra combinado con otros elementos como el O₂, C y N₂, por lo que para hacer uso de este, se debe separar de estos otros elementos.¹⁶

Los métodos de producción de hidrógeno, se clasifican en electroquímicos (descomposición del agua en O₂ y H₂ haciendo pasar una corriente directa que impulsa reacciones electroquímicas), termoquímicos (reacciones químicas impulsadas por energía de ignición o calor que se llevan a cabo cíclicamente con el resultado de la separación de la molécula de agua), fotoquímicos (descomposición de moléculas de agua mediante electrólisis originada por energía foto-catalítica o foto-electroquímica), radio-químicos (aprovechamiento de la radiación nuclear para llevar a cabo la separación del agua), bioquímica (obtención de hidrógeno por conversión de biomasa) e híbridos.^{17, 18}

La producción mundial está entre 44.5 y 50 millones ton/año, valor que representa alrededor del 2% de la demanda de energía primaria. Actualmente Estados Unidos produce 9 millones ton/año de hidrógeno industrialmente en grandes cantidades a partir de combustibles fósiles, principalmente del gas natural. De esta generación el 60% es utilizado en la fabricación de amoníaco, refinamiento de petróleo, síntesis de metanol y otros.^{19, 20}

Otros usos que actualmente se dan al hidrógeno son:^{20, 21, 22}

- ✓ La generación de energía eléctrica utilizando hidrógeno es factible utilizando el vapor de agua (subproducto de la combustión del hidrógeno) en turbinas de vapor, las cuales son dispositivos que convierten la energía

-
16. Momirlan M. y T.N. Veziroglu, 2004, "The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a cleaner planet", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 30.
 17. Dincer I. y Zamfirescu. C, 2012, "Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37.
 18. Ibrahim Dincer, 2012, "Green methods for hydrogen production", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37
 19. Pasquevich D., 2004, "Tecnología del hidrógeno", Petrotecnia.
 20. Balat M., 2008, "Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 33.
 21. Bockris J.O'M., 2002, "The origin of ideas on a Hydrogen Economy and its solution to the decay of the environment", Pergamon, International Journal of Hydrogen energy 27.
 22. Yoder A.L., 2007, "El hidrógeno como fuente alterna de energía", Tesis de pregrado, Director: Ing. Días Jorge, Ing. Avila R, Instituto Politécnico Nacional, México D.F, México.

de flujo en energía mecánica rotacional y posteriormente en electricidad, debido al paso del vapor por el eje de la turbina.

- ✓ El hidrógeno debido a su alto contenido de energía por unidad de peso, permite la combustión a altas relaciones de compresión y altas eficiencias en máquinas de combustión interna, como es el caso de los automóviles mejorando la eficiencia de combustible. La eficiencia de los automóviles modernos es de alrededor del 13%, mientras que en vehículos a hidrógeno (híbrido-eléctricos, celdas de combustible) la eficiencia puede alcanzar un rango entre 35 y 45%.
- ✓ Combustibles para cohetes, junto con células de combustible que proporcionan calor, electricidad y agua potable para los astronautas. En un futuro se podría utilizar en vehículos de combustible y aviones.
- ✓ Combustibles de motores de combustión interna y combustibles eléctricos de pila.
- ✓ Combustibles de alta temperatura de los hornos industriales.
- ✓ En un futuro próximo se podría proporcionar energía eléctrica por ejemplo para nuestros hogares y oficinas.
- ✓ En la eliminación de basura, mediante la pirolisis de la misma, la cual contiene hidrógeno en forma de metano y etileno, obteniendo hidrógeno que es útil en la síntesis de plásticos.
- ✓ En la industria metalúrgica se puede recuperar níquel y plomo de los minerales por medio de la reducción con hidrógeno.
- ✓ El hidrógeno como reactivo en una pila de combustible, que es un dispositivo electroquímico de conversión de energía similar a una batería, pero se diferencia de esta última en que está diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos. Algunas aplicaciones para las pilas de combustibles se han venido desarrollando a pesar de sus altos costos iniciales. Sin embargo, se espera que los costos vayan disminuyendo a medida que la capacidad de fabricación, el aumento de la capacidad y la mejorara de integración y diseños se desarrollen. Las pilas de combustible ofrecen beneficios potenciales como un sistema de generación distribuida y la adaptación a requisitos de carga específicos. Los sistemas tienen niveles de ruido muy bajos y tienen emisiones

atmosféricas insignificantes, permitiendo que se coloque cerca de la fuente de la demanda de energía. Además de las aplicaciones de pilas de combustible de alto perfil, tales como la propulsión automotriz y distribución de la generación de energía eléctrica, el uso de pilas de combustible como “Unidades de Potencia Auxiliar” (APU) para los vehículos ha recibido una considerable atención. Las aplicaciones APU pueden ser un mercado atractivo porque ofrece una oportunidad real de mercado masivo que no requiere el desempeño difícil y de bajo costo requerido para sistemas de propulsión para vehículos. Las pilas de combustible, por otra parte, no se desechan después de cada uso, pero se pueden reutilizar cientos de veces, por lo que en un futuro se podría implementar en refrigeración, iluminación, en celulares, computadores, tablet, cámaras fotográficas, TV, etc.²³

2.3 ESTADO DEL ARTE.

El hidrógeno fue identificado por primera vez, como dos gases diferentes formando parte del agua, por Henry Cavendish en 1766, dándole el nombre de aire inflamable. Posteriormente en 1783, Antoine Lavoisier lo llama hidrógeno, generador de agua.

En 1800 los científicos Guillermo Nicholson y Antonio Carlisle descubren la electrólisis, aunque se atribuye a Faraday en 1833. Luego en 1838 Christian Friedrich Schoenbein descubre el efecto de la pila de combustible, por la combinación de hidrógeno y oxígeno produciendo agua y corriente eléctrica y para 1889 se construye el primer dispositivo fuel-cell usando como combustible aire y gas de hulla industrial.

Antes de finalizar el siglo XVIII, se encontró una aplicación para el hidrógeno en globos de reconocimiento y más de un siglo después, 1900 se usó en dirigibles alemanes para cruzar el océano Atlántico y como combustible para la propulsión de zeppelines (dirigibles). Para 1920 Rudolf Erren, convierte los motores de combustión interna de camiones a motores de combustión por hidrógeno.

23. EG &G Services, Parson, Inc, 2000, “Fuel Cell Handbook (fifth edition)”, Science Applications International Corporation, Morgantown, West Virginia.

Antes y después de la segunda guerra mundial, el hidrógeno se empleó como combustible en motores de locomotoras, submarinos y vehículos de todo tipo, pero no tuvo mucho éxito. Mientras que en 1952 se construye la “Ivy Mike”, primera bomba de hidrógeno.^{24, 25}

Por lo que a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX se da el auge del carbón comenzando la Revolución Industrial, iniciando un “desarrollo” de forma lenta, aunque en el aspecto social, se da un cambio drástico en su comportamiento y organización; debido a los beneficios recibidos por las máquinas de vapor en una época llamada “orgullo de las chimeneas”, por lo que cada nación, llegó a medir sus riquezas por el número de chimeneas por hectárea, para pasar a cifras de producción. Todo esto se dio sin considerar la sobre-explotación de recursos naturales y el uso de esquemas industriales ineficientes que consecuentemente hizo que se vertieran al exterior mayores cantidades de residuos, afectando a su vez al medio ambiente.²⁶

Para el siglo XX el petróleo, eliminó toda posibilidad de uso masivo del hidrógeno. Aunque la industria química utilizó el hidrógeno para la producción de fertilizantes, eliminación de azufre y otros componentes de las gasolinas, también como complementos en la síntesis de productos derivados del petróleo, mantuvieron una producción poco sustancial de hidrógeno.²⁷ Despues la crisis del petróleo fue una advertencia sobre el agotamiento de los recursos, pero también del deterioro del medio ambiente. Llevando a tomar conciencia en 1972 en Estocolmo con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, creando el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con sede en Nairobi.²⁸ Aunque según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza, la misma que se fundó en 1948, la idea de desarrollo sostenible

24. Gutiérrez J.L, 2005, “*El Hidrógeno, Combustible del Futuro*”, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 99 N°1.
25. Cando P.H y Quelal M.H, 2012, “*Construcción y adaptación de un sistema generador de gas de hidrógeno para suministrarlo a un motor de combustión interna*”, Tesis de pregrado, Director: Ing. Mario Granja, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.
26. Burbano H, 2000, “*Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental. Aproximación desde la naturaleza y la sociedad*”, Graficolor, Pasto, Colombia.
27. Gutiérrez J.L, 2005, “*El Hidrógeno, Combustible del Futuro*”, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 99 N°1.
28. Burbano H, 2000, “*Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental. Aproximación desde la naturaleza y la sociedad*”, Graficolor, Pasto, Colombia.

presentada en 1980, estuvo encaminada hacia la sostenibilidad en términos ecológicos, mas no económicos.

Luego, debido a la serie de efectos causados al ambiente, para 1987 en la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo, se presentó el informe “Nuestro Futuro Común”, definiendo el término Desarrollo Sostenible como: Proceso de cambio en el cual la explotación de los recursos, la orientación de la evolución tecnológica y la modificación de las instituciones están acordes y acrecientan el potencial actual y futuro para satisfacer las necesidades y aspiraciones humanas. Mientras la Cumbre de Brasil 92 lo proyecta al debate político.²⁸

Luego se desarrollaron una serie de reuniones entre ellas, la Declaración de Swansea (1993) en Gales, con el fin de establecer y diseminar un enfoque del desarrollo sustentable en el marco de Conferencia Gente y Medio Ambiente-Preservando el Balance, seguida del Protocolo de Kioto (1997) con el marco de Conferencia Desarrollo Sostenible, con el fin de lograr una reducción de las emisiones de gases efecto invernadero por parte de los países miembros, mediante la reducción de hasta un 5% de las mismas en un período de 2008-2012, respecto de los niveles de 1990.²⁹

Con este panorama en la segunda mitad del siglo XX, se da un nuevo impulso de la industria automovilista por el empleo en gran escala del hidrógeno. Aunque poco después Estados Unidos y Austria se retiraron del protocolo, sin intenciones de volver a participar.³⁰ El segundo período del Protocolo de Kioto entró en vigencia desde el 1 de enero del 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020, con un compromiso débil y metas poco ambiciosas de cooperación. En esta cumbre, el Ecuador desempeño un papel importante presentando varias propuestas, entre ellas Emisiones Netas Evitadas (ENE), convirtiéndose en mecanismo principal de la convención, para la implementación a través de un programa creado con esta finalidad.

29. Armijos S.G., 2012, “Ingeniería preliminar de opciones de aprovechamiento de energía de fuentes renovables (no convencionales) para implementación en la ampliación del campus San Cayetano de la UTPL: Harvesting de energía en el nuevo polideportivo del campus San Cayetano de la UTPL”.

30. Chuquín V.N. y Márquez S.F., 2011, “Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (zelio)”.

Desde finales de 1980, se ha dado un fuerte impulso para el desarrollo de pilas de combustible para uso en vehículos de propulsión ligeros y pesados, debido a la necesidad de vehículos limpios y eficientes, camiones y autobuses que pueden funcionar con combustibles convencionales (gasolina, diésel), así como de combustibles renovables y alternativos (H_2 , CH_3-OH , C_2H_5-OH , CH_4 y otros hidrocarburos). Con el hidrógeno como el combustible a bordo, estos vehículos serían vehículos de emisiones cero. Además, estos vehículos ofrecen las ventajas de la propulsión eléctrica y de bajo mantenimiento, por sus pocas partes móviles.³¹ Este desarrollo fue patrocinado por varios gobiernos de América del Norte, Europa y Japón, así como por los principales fabricantes de automóviles en todo el mundo. A partir de mayo de 1998, se han fabricado varios autos de células de combustible de propulsión, camionetas y autobuses que operan con H_2 y CH_3-OH .

Estados Unidos también ha desarrollado ideas sobre el hidrógeno, estableciendo organizaciones como la “Asociación Internacional para Energía del Hidrógeno” (IAHE), la misma que comenzó a publicar la revista “The International Journal of Hydrogen Energy” a la par realiza cada dos años “Conferencias Mundiales de la Energía del Hidrógeno”.³²

Países como USA, Alemania, Brasil, España, Egipto, Islandia, entre otros, han estudiado los posibles problemas que puedan presentar los sistemas que requieran trabajar con hidrógeno, como son los requerimientos energéticos por la producción de hidrógeno. Ejemplos de las investigaciones realizadas son las alternativas que se presentan para almacenamiento de hidrógeno, dejando de lado las formas convencionales de almacenamiento de energía. Se trata de la utilización de materiales carbonosos (nanotubos), los mismos que son capaces de acumular grandes cantidades de hidrógeno en fase gaseosa y que se muestra prometedora en la preparación de electrodos negativos para baterías alcalinas recargables cuando se incorporan metales.³³

-
- 31. EG &G Services, Parson, Inc, 2000, “Fuel Cell Handbook (fifth edition)”, Science Applications International Corporation, Morgantown, West Virginia.
 - 32. Goltsov. V.A, Veziroglu. T.N y Goltsova L.F, 2006, “Hydrogen civilization of the future- A new conception of the IAHE”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 31.
 - 33. Yoder A.L., 2007, “El hidrógeno como fuente alterna de energía”.

Por último, buscando alternativas de producción de energía limpia, eficiente, confiable y con bajas emisiones de carbono, se puede encontrar una opción en la producción de energía a través del hidrógeno, a partir de energías renovables, como son la solar, eólica, geotérmica entre otras.

2.2. EFECTOS DEL HIDRÓGENO SOBRE EL AMBIENTE.

El hidrógeno en la tierra, existe de manera natural, sin embargo está presente en muchos compuestos. La cantidad más abundante de hidrógeno se encuentra en el agua, aunque también está presente en el gas natural, petróleo y biomasa. Por lo que es necesario separar al hidrógeno de estos compuestos, para generar hidrógeno propiamente dicho y su posterior utilización como combustible.

Existen varios métodos de generación del hidrógeno. Los métodos más comunes se basan en el reformado con vapor del gas natural. También puede ser generado por carbón, petróleo o biomasa, aunque ésta forma de generación igualmente que para otros combustibles sigue produciendo CO₂ como producto. Cuando el CO₂ escapa a la atmósfera esto conduce al calentamiento global y por lo tanto al cambio climático. Los principales contaminantes debido a la combustión de combustibles tradicionales, son el CO₂, CO, SO₂, NO_x, O₃, Pb, hollín, ceniza (hidrocarburos parcialmente quemados y material particulado) y otros metales tóxicos.³⁴

A diferencia de los anteriores métodos mencionados para la producción de energía, causantes de gases contaminantes, lluvia ácida, agotamiento de la capa de ozono estratosférico, y por lo último causantes del efecto invernadero, se busca métodos alternativos, que sean amigables con el ambiente, los mismos que ventajosamente han ido evolucionando. Como es la producción de hidrógeno mediante energías renovables, es decir se puede hacer uso de energía solar, eólica, geotérmica de acuerdo a las fuentes que se encuentran en un lugar específico. Este tipo de sistemas funcionan gracias al proceso de electrólisis. Combinados los dos hacen que este tipo de generación sea amigable con el

34. Sun Z., Liu F., Lui X., Sun B., Sun D., 2012, "Research and development of hydrogen fuelled engines in China", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37.

ambiente y exista expectativa para que sea el hidrógeno el combustible del futuro, siendo energía sostenible.³⁵

Internacionalmente, existe una gran necesidad de desarrollar tecnologías que permitan la producción de energía no contaminante al medio ambiente, por ejemplo en sistemas tales como: la electricidad solar- hidrógeno y solar. Este tipo de tecnología es particularmente prometedor en lugares en los que existe radiación solar alta, como Australia, África, Asia, América del Norte y Sur.

En la tabla N°2.4 se presenta las reacciones y productos correspondientes a los métodos de producción de hidrógeno, ya sea por fuentes convencionales fósiles o por energías renovables.

TABLA N°2. 4. GENERACIÓN DE HIDRÓGENO, MEDIANTE GAS NATURAL Y SEPARACIÓN DE AGUA.

Gas natural reformado		Separación del agua.	
Proceso	Productos	Proceso	Productos
Generación		Generación	
$\text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 4\text{H}_2 + \text{CO}_2$	CO_2, H_2	$\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2$	O_2, H_2
Combustión		Combustión	
$\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}$	H_2O	$\text{H}_2 + 1/2 \text{O}_2 \leftrightarrow \text{H}_2\text{O}$	H_2O

FUENTE: Nowotny J. y Veziroglu N, "Impact of hydrogen on the environment", 2011.

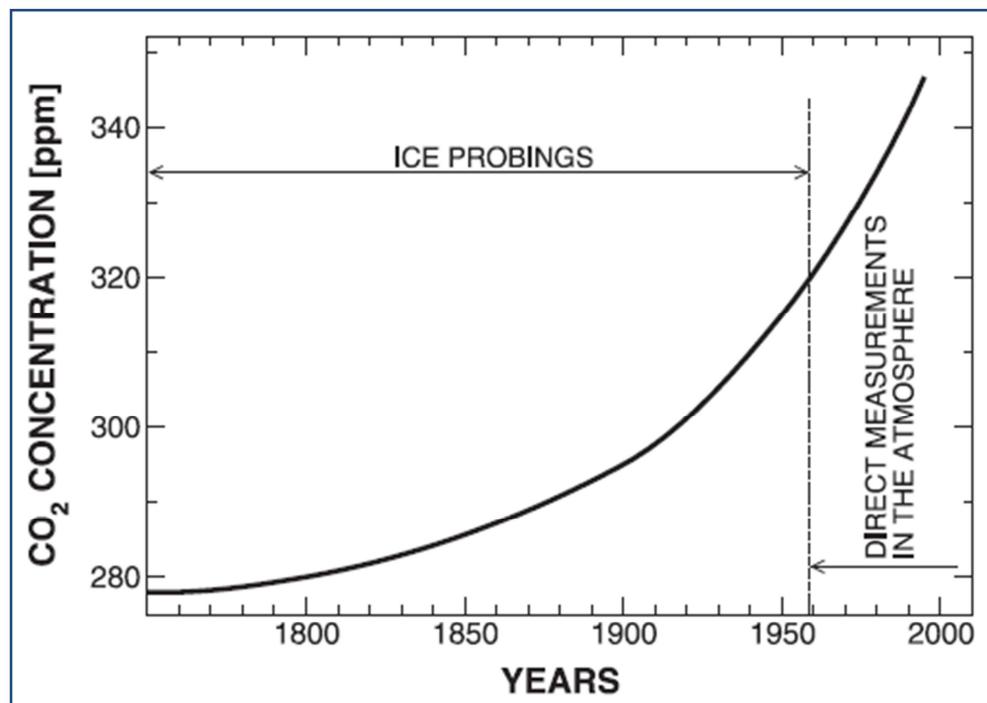
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Las emisiones de gases efecto invernadero se incrementaron alarmantemente en un periodo de 1700 al 2000, como se muestra en la figura N°2.3, con el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera.

La introducción del hidrógeno como combustible desde el punto de vista ambiental tendrá un efecto positivo, si se genera a partir de energía renovable. En la actualidad la generación de hidrógeno como combustible se produce generalmente por vapor de gas natural reformado, lo mismo que conduce a la emisión de gases efecto invernadero al mismo nivel que la combustión de combustibles fósiles.

35. Dincer I., 2012, "Green methods for hydrogen production", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37.

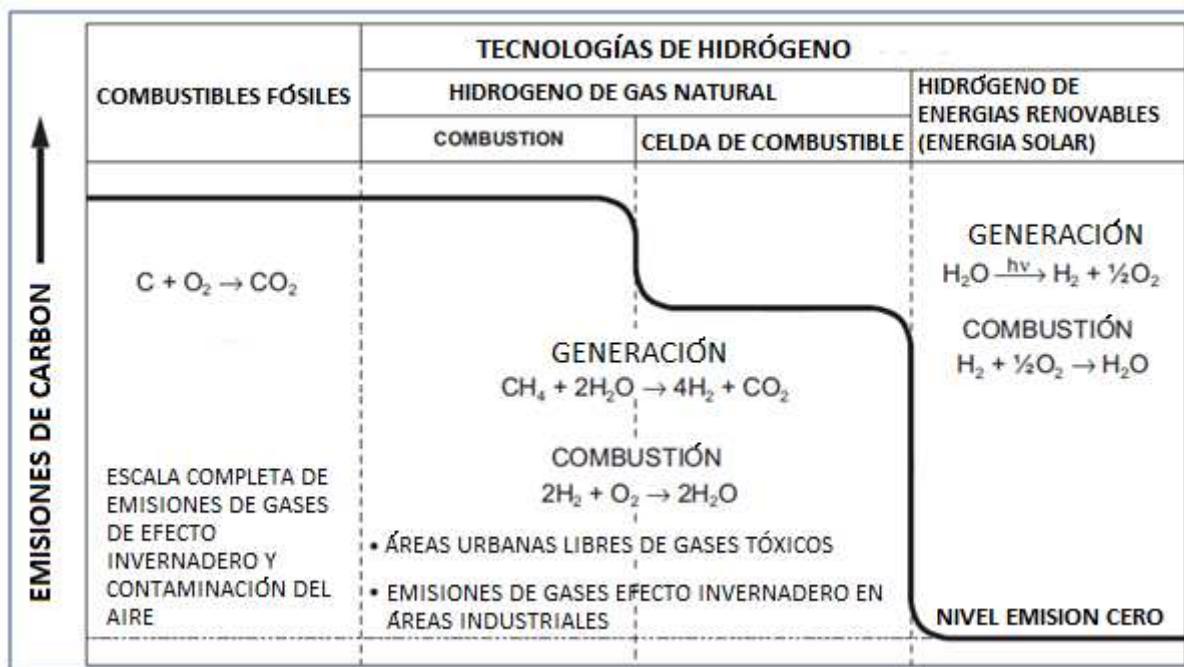
FIGURA N°2. 3. INCREMENTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CO₂ EN LA ATMÓSFERA.



FUENTE: Nowotny J. y Veziroglu N., "Impact of hydrogen on the environment", 2011.

Mientras que el hidrógeno obtenido a partir de energías renovables, como la solar- hidrógeno no conducen a emisiones de carbono en su generación y combustión. El efecto de la generación de hidrógeno y la utilización en la emisión de carbono, en comparación con el nivel de emisión mediante el uso de combustibles fósiles, se muestra en la figura N°2.4.

FIGURA N°2. 4. EFECTOS DE GENERACIÓN Y COMBUSTIÓN DEL HIDRÓGENO EN EMISIONES DE CARBONO.



FUENTE: Nowotny J. y Veziroglu N., "Impact of hydrogen on the environment", 2011.

2.3. ESTABILIDAD AMBIENTAL.

La estabilidad ambiental se refiere al grado con el que los factores ambientales relevantes cambian de manera predecible en magnitud y dirección, así como el grado en que la relevancia de estos factores específicos permanece constante. Pueden variar en función de su frecuencia, amplitud y predictibilidad. La estabilidad ambiental hace referencia a este último aspecto. El ambiente dinámico no se caracteriza por ser un ambiente variable.³⁶

Respecto a la estabilidad ambiental del hidrógeno, existe naturalmente en la atmósfera. En su estado gaseoso se disipa rápidamente en áreas bien ventiladas, como se observó en la tabla N°2.1, respecto a las propiedades del hidrógeno en donde se muestra los valores de mezcla estequiométrica en el aire (29%), límites de inflamabilidad en un amplio rango de 4% a 75% Vol. en el aire, así como el límite de detonación que indica que es fácilmente detonante con un 18% a 60% Vol. en el aire ya que necesita poco energía para su ignición, siendo la mínima de

36. Psicología Online, "El Ambiente Organizacional. Concepto de ambiente organizacional y límites de la organización.", 2007, <http://online-psicologia.blogspot.com/2007/11/el-ambiente-organizacional.html>, (25/10/2013)

20 μJ. Aunque en las condiciones ordinarias de uso y almacenamiento el hidrógeno es estable.

Considerando estas propiedades del hidrógeno en el ambiente, se debe considerar los efectos que se pueden generar en la salud humana, plantas, animales y en la vida acuática.

- ✓ Efectos en la salud humana: se puede dar por inhalación, en donde elevadas concentraciones puede causar asfixia, lo que es causante de síntomas como la pérdida de conciencia o de la movilidad. La víctima puede no haberse dado cuenta de la asfixia. La asfixia puede causar la inconsciencia tan inadvertida y rápidamente que la víctima puede ser incapaz de protegerse. No tóxico.

Contacto con la piel: sin efectos negativos.

Ingestión: la ingestión no está considerada como una vía potencial de exposición.

Peligro crónico para la salud: no aplicable

La exposición a hidrógeno en una atmósfera con deficiencia de oxígeno puede causar los siguientes síntomas: vértigo, salivación, náuseas, vómitos, pérdida de movilidad y conciencia.³⁷

- ✓ Efecto sobre plantas o animales: Cualquier efecto del hidrógeno en animales será debido a los ambientes deficientes de oxígeno. No se anticipa que tenga efectos adversos sobre las plantas, aparte de la helada producida en presencia de los gases de expansión rápida.
- ✓ Efecto sobre la vida acuática: Actualmente no se dispone de evidencia sobre el efecto del hidrógeno en la vida acuática.³⁸

37. STAG S.A, "Ficha Seguridad hidrógeno".

38. Water treatment solutions. LENNTECH. "Hidrógeno-H".

2.4. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO, A PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES.

Actualmente en el mundo se producen más de 500,000 millones de m³/año de hidrógeno, de estos la mayoría son utilizados por la industria química para la obtención de fertilizantes y para la hidro-generación de aceites orgánicos comestibles.

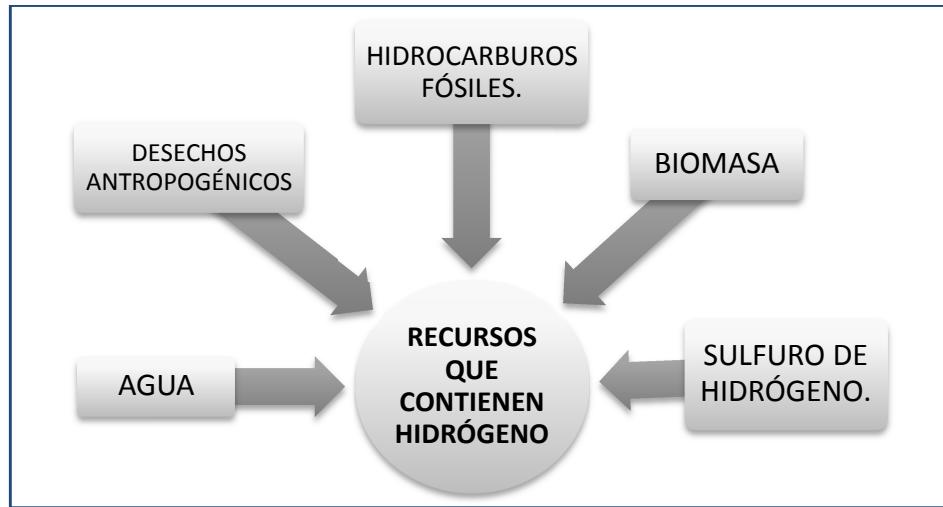
Existen alrededor de 90 métodos para producir hidrógeno que pueden ser divididos básicamente en 4 categorías: biológicos, químicos, electroquímicos y térmicos (Winter, 1988)³⁹. El proceso más común para producir hidrógeno es mediante la reformación de hidrocarburos (principalmente gas natural) aunque durante el proceso de obtención se generan contaminantes como el dióxido de carbono, además de necesitar importantes cantidades de energía, por lo que hace a este método inviable para ser un proceso sustentable. Por lo que se han desarrollado métodos con aplicación de energía renovable para la producción de hidrógeno.⁴⁰

Es necesario identificar las vías de producción sostenible de hidrógeno, así como las fuentes de energía disponibles que pueden ser utilizados para extraer hidrógeno a partir de recursos naturales y los métodos aplicables de producción de hidrógeno. El hidrógeno se encuentra presente en los recursos naturales como el agua, los hidrocarburos fósiles, biomasa, sulfuro de hidrógeno y los desechos antropogénicos, como se observa en la figura N°2.5. Los desechos antropogénicos de los que se puede extraer hidrógeno son: las aguas residuales que contienen urea, desechos agrícolas como estiércol, residuos de cultivos, etc. Los cuales son fuentes de biogás. Otros residuos que generan gases de vertedero por degradación anaerobia son plástico reciclado y materiales celulósicos.

39. Winter, J. C.y Nitsch J. Eds (1988). "Hydrogen as an Energy Carrier", Springer, Berlin, 1988.

40. Fuentes A.T, 2007, "Generación Eoloeléctrica con Almacenamiento de hidrógeno".

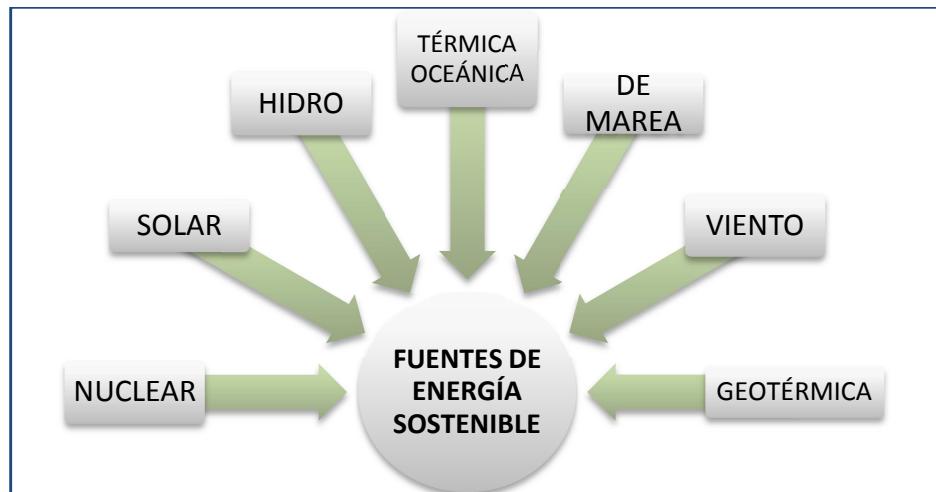
FIGURA N°2. 5. RECURSOS QUE CONTIENEN HIDRÓGENO



FUENTE: Dincer I. y Zamfirescu. C, *Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE*, 2012
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

La energía sostenible se requiere para extraer hidrógeno desde recursos limpios, o de una forma no contaminante. Por lo que en la figura N° 2.6 se presenta las fuentes de energía que pueden considerarse sostenibles: solar, hidráulica, térmica oceánica, las mareas, eólica, biomasa, geotérmica y nuclear.

FIGURA N°2. 6. FUENTES DE ENERGÍA SOSTENIBLE.



FUENTE: Dincer I. y Zamfirescu. C, *Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE*, 2012
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

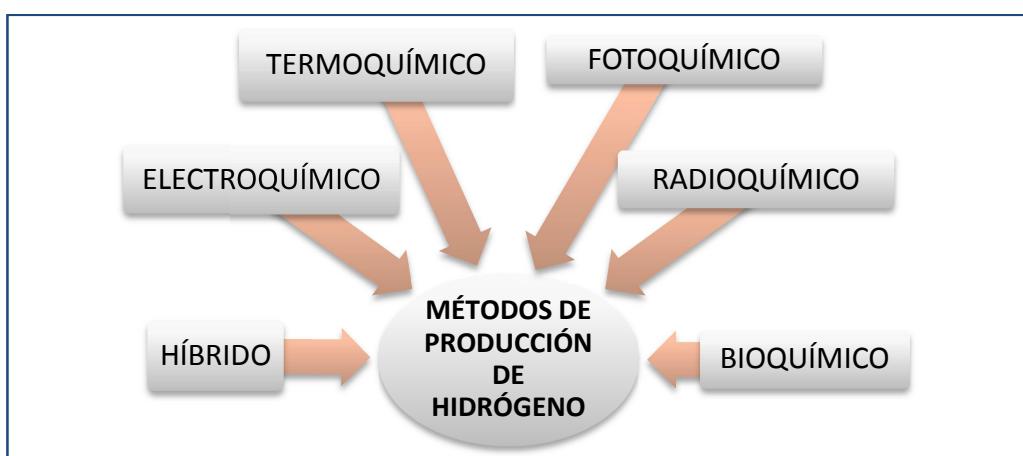
El uso cuidadoso de cualquiera de estas fuentes puede generar electricidad y/o calor de alta temperatura y /o radiación nuclear con o sin menor impacto ambiental. Dicha energía se utiliza para la producción de hidrógeno a través de varios métodos como son: termoquímicos, radioquímicos, bioquímicos e híbridos.

Los métodos híbridos son sistemas integrados que utilizan cualquier tipo de combinación de los cinco primeros métodos de producción de hidrógeno que figuran, por ejemplo, electro-foto-químico, foto-bio-químico, electro-termoquímico, etc. Ver figura N°2.7.

Respecto a la energía eléctrica y térmica se puede obtener a partir de energías renovables como la solar, eólica, geotérmica, de las mareas, de las olas, óceano térmica, hidroeléctrica, biomasa, o de la energía nuclear o de energía que se recupera. La energía fotónica está comprendida solo de la radiación solar. La energía bioquímica proviene de aquella que ésta almacenada en la materia orgánica y puede ser manipulada por ciertos microorganismos que pueden extraer hidrógeno a partir de varios sustratos o que se puede convertir químicamente en energía térmica.

La energía bioquímica puede ser asistida o no por la radición solar para generar energía, dependiendo del caso (bio-fotólisis o fermentación oscura).⁴¹

FIGURA N°2. 7. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO.



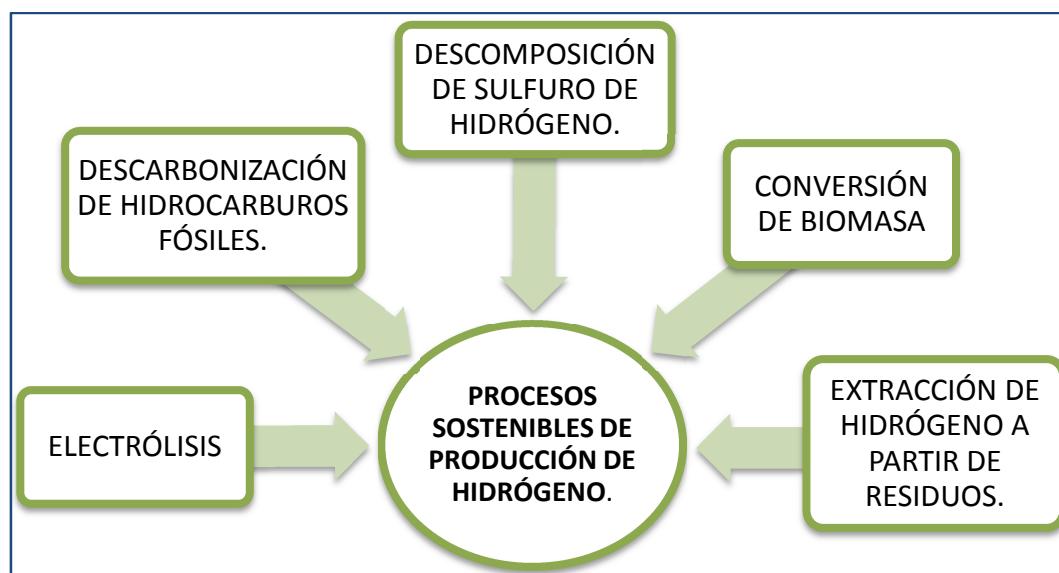
FUENTE: Dincer I. y Zamfirescu. C, *Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE*, 2012
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Por lo tanto se identifica vías posibles de generar hidrógeno de manera sostenible, como son la electrólisis, la descarbonización de hidrocarburos fósiles, la descomposición de sulfuros de hidrógeno, conversión de biomasa a hidrógeno y extracción de hidrógeno a partir de materiales de desecho resultante de la actividad antropogénica.

41. Ibrahim Dincer, 2012, “Green methods for hydrogen production”, IEA (International Energy Agency) (2011b): Deploying Renewables. Best and Future Policy Practice, OECD/IEA, Paris.

Cada vía corresponde a un recurso natural, incluyendo los residuos antropogénicos) desde la que se pude extraer hidrógeno. (Vease la figura N°2.8). Para cada vía es posible el uso de una combinación específica de energía sostenible y un método de producción de hidrógeno, que se indicaron en las figuras N° 2.6 y 2.7.

FIGURA N°2. 8. PROCESOS SOSTENIBLES DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO.



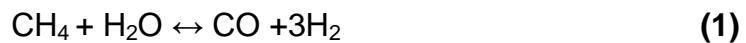
FUENTE: Dincer I. y Zamfirescu. C, *Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE*, 2012
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

A continuación se detallan los métodos más importantes de producción de hidrógeno, a partir de fuentes renovables.

- ✓ Reformado a vapor de agua: El hidrógeno puede ser producido del metano encontrado en el gas natural. Este proceso incluye tres etapas, primero se combina el vapor y el metano a alta presión (3MPa) y temperatura entre 550 y 900°C, para producir una mezcla de hidrógeno, dióxido de carbono y otras impurezas, conocida como gas sintético. Para luego extraer el dióxido de carbono del gas sintético, y por finalmente purificar el hidrógeno obtenido. El rendimiento neto de conversión es por lo general de un 83%.

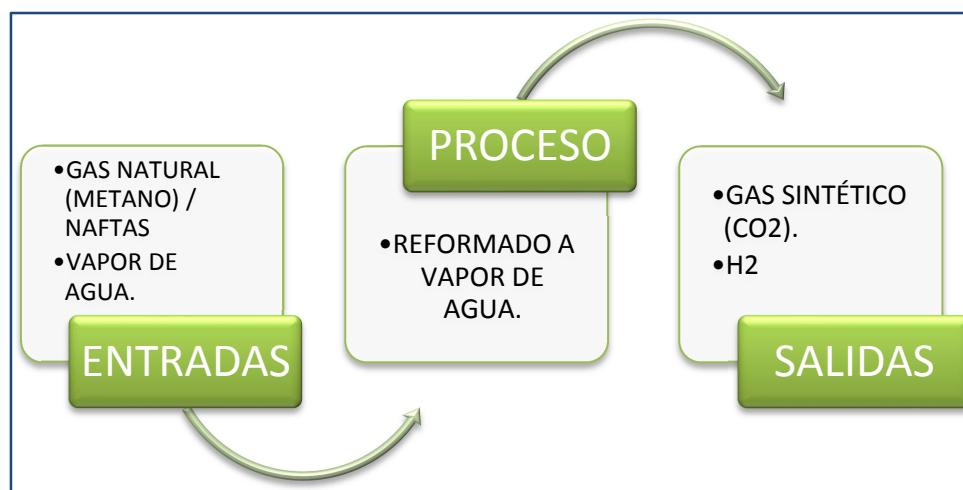
Otro método, llamado oxidación parcial, produce hidrógeno por la quema de metanol en aire, en este caso también se produce gas de síntesis, el cual reacciona con agua para producir más hidrógeno.⁴²

Las reacciones que aplican son⁴³:



En general el esquema de este procedimiento se presenta en la siguiente figura:

FIGURA N°2. 9. REFORMADO DE VAPOR DE AGUA.



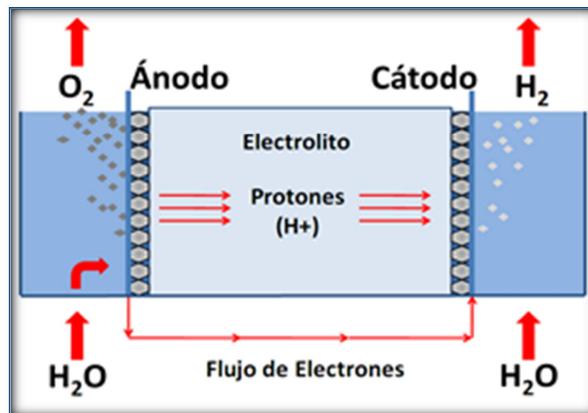
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

- ✓ Electrólisis: La electrólisis del agua actualmente presume del 4% de la producción mundial de hidrógeno. Este proceso consiste en usar una corriente eléctrica dentro del agua para separarla en hidrógeno y oxígeno, como se presenta en la figura N° 2.10. La electricidad requiere que se pueda generar a partir de tecnología de energías renovables, como viento, energía solar, geotérmicas y plantas hidroeléctricas. Se busca un aumento importante de esta vía, se pretende que el hidrógeno sustituya a los combustibles fósiles como fuente de energía.

42. Salgado C.R y Acosta G.Q., 2010, "Diseño y construcción de un electrolizador de corriente continua de 200 vatios con energía solar e instrumentación necesaria para medir la producción de hidrógeno"

43. Yoder A.L., 2007, "El hidrógeno como fuente alterna de energía".

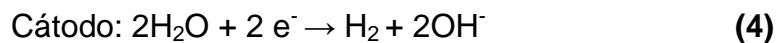
FIGURA N°2. 10. PROCESO DE ELECTRÓLISIS.



ELABORACIÓN: FUENTE PROPIA.

Las electrólisis más comunes se basan en la electrólisis de soluciones alcalinas. La adición de un electrolito como la sal, aumenta la conductividad del agua, el hidrógeno se libera en el cátodo y una cantidad equivalente de oxígeno se libera en el ánodo.⁴⁴ El líquido mismo y los separadores porosos usados en la celda electrolítica evitan que se mezclen los gases liberados, que pueden recogerse a presiones convenientes.

Las reacciones involucradas son:

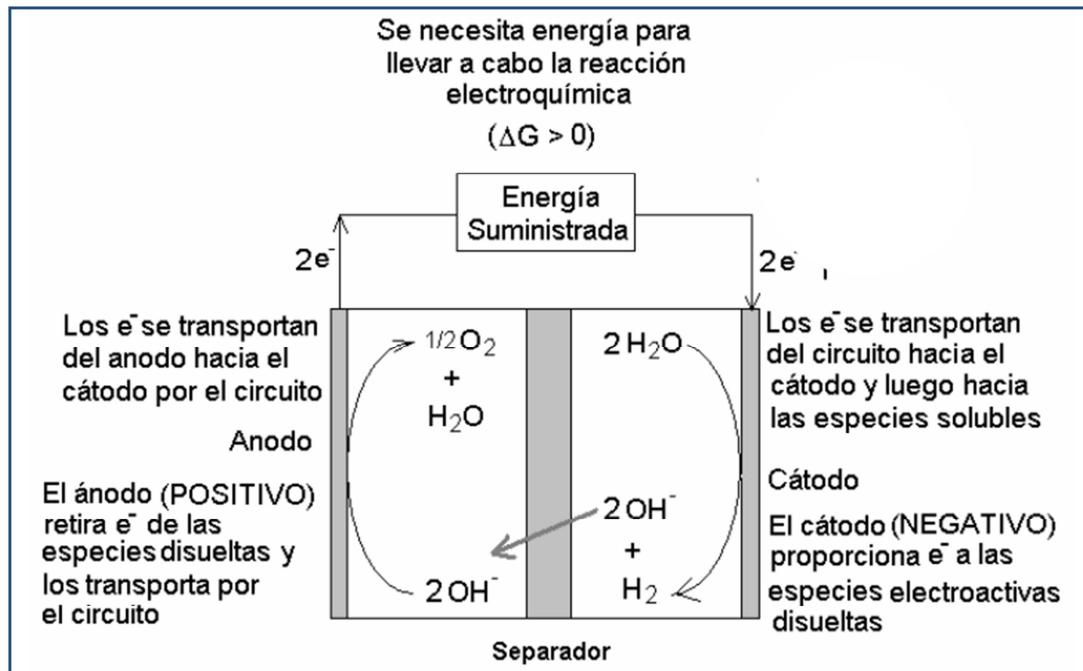


Las investigaciones sobre la electrólisis clásica se dirigen al desarrollo de electrolizadores de halogenados y membrana de intercambio protónico. El rendimiento promedio durante la electrólisis viene siendo de un 65%, sin embargo, los dispositivos más modernos pueden alcanzar un rendimiento entre el 80% y el 85%.⁴⁵

El electrolizador y sus reacciones se presentan en la figura N°2.11.

-
- 44. Bicácová O. y Straka P., 2012, "Production of hydrogen from renewable resources and its effectiveness", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 11563-11578.
 - 45. Salgado C.R y Acosta G.Q., 2010, "Diseño y construcción de un electrolizador de corriente continua de 200 vatios con energía solar e instrumentación necesaria para medir la producción de hidrógeno", Tesis de pregrado, Director: Dr. Álvaro Aguinaga B. MSc. PhD., Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, p.p 50, 51, 54

FIGURA N°2. 11. REACCIONES EN UN ELECTROLIZADOR.
(ADAPTADO SANDOVAL, 2006).



FUENTE: Fuentes A.T, "Generación Eolo-eléctrica con Almacenamiento de hidrógeno", 2007.

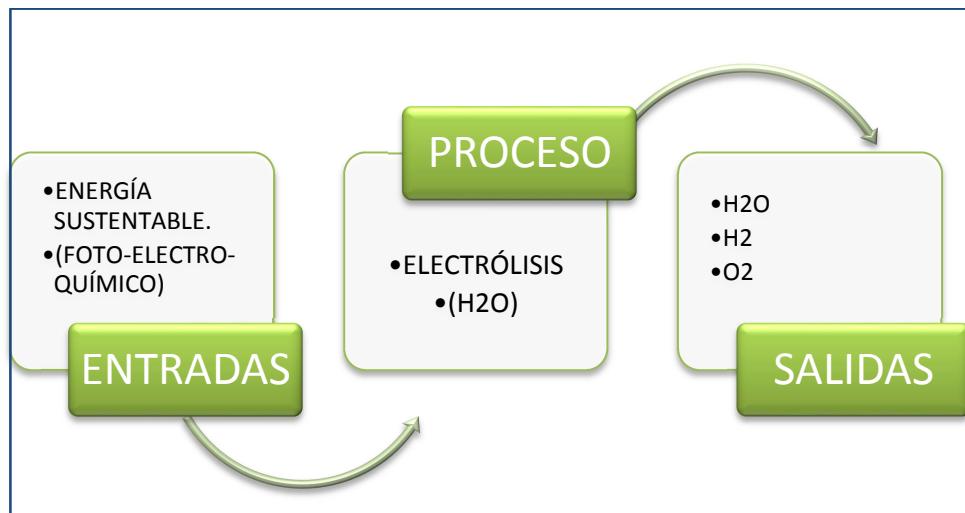
También existen investigaciones sobre métodos electrolíticos no convencionales como la electrólisis de vapor a alta temperatura (900-1000°C), teniendo como ventaja el poder proporcionar la energía de reacción necesaria en forma de calor y electricidad. Otros estudios se dirigen a la electrólisis reversible del ácido bromhídrico, ya que la energía necesaria para disociar esta molécula es la mitad requerida para la molécula de agua.

Se debe considerar que es conveniente aplicar energías baratas a la electrólisis del agua, como la fotovoltaica, aunque los sistemas fotoelectroquímicos tienen la ventaja de usar sólo la luz solar ya que no necesitan cableado o convertidores externos. El sistema de recolección de radiación solar es capaz de generar suficiente voltaje para descomponer el agua.⁴⁶

A continuación se presenta un esquema de la combinación de ésta tecnología. Figura N° 2.12.

46. Yoder A.L., "El hidrógeno como fuente alterna de energía", 2007.

FIGURA N°2. 12. PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO POR ELECTRÓLISIS.



ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

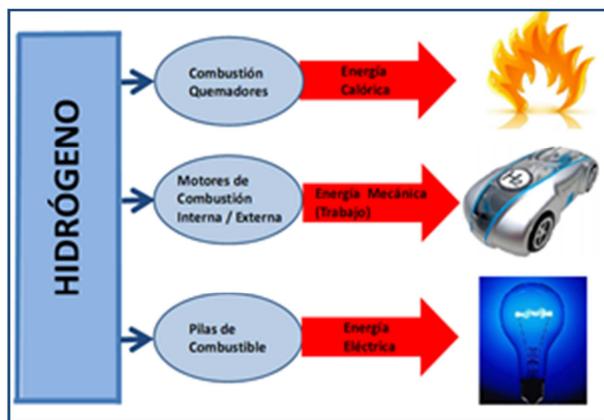
El hidrógeno producido por la electrólisis puede ser utilizado, como se presenta en la figura N°2.13, para ser combustionado en quemadores generando energía calórica para procesos de calentamiento y secado; también en motores de combustión interna y externa para producir energía mecánica o trabajo; y, por reacción electroquímica, en una pila de combustible, a partir de la cual se produce energía eléctrica.

Una pila de combustible, es un dispositivo electroquímico de conversión de energía similar a una batería, pero se diferencia de esta última en que está diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos; para este caso los reactantes típicos utilizados en una celda de combustible son hidrógeno en el lado del ánodo y oxígeno en el lado del cátodo.

La electricidad producida se da por oxidación controlada del hidrógeno. La energía química se convierte directamente en energía eléctrica y calor cuando el combustible hidrógeno se combina con el oxígeno del aire; siendo el único subproducto el agua, por lo que convierte a este sistema en uno mucho más eficiente que las fuentes de energía tradicional.⁴⁷

47. Cando P.H y Quelal M.H, 2012, "Construcción y adaptación de un sistema generador de gas de hidrógeno para suministrarlo a un motor de combustión interna".

FIGURA N°2. 13. USOS DEL HIDRÓGENO.



ELABORACIÓN: FUENTE PROPIA.

- ✓ **Des-carbonización de combustibles fósiles:** Los combustibles fósiles que se usan para la producción de hidrógeno, siguen siendo contaminantes para el ambiente, sin embargo a continuación se presentan alternativas sostenibles. Se puede extraer hidrógeno de los combustibles fósiles convencionales (carbón, petróleo, gas natural) o no convencionales (aceites de esquisto, arenas bituminosas), por lo que existen métodos amigables para su extracción.

El contenido de hidrógeno de algunos hidrocarburos fósiles es pobre (como en el carbón, arenas bituminosas) de tal forma que el proceso de extracción puede requerir la adición de agua como fuente suplementaria de hidrógeno.

En la figura N° 2.14 se puede observar que se necesita la entrada de energía para el proceso, las mismas que pueden ser producidas por fuentes renovables como la nuclear, o por energía sustentable como la solar. En caso de que la energía provenga de fuente de combustibles fósiles, deberá ser seguida de la captura y secuestro del CO₂.

FIGURA N°2. 14. PROCESO SOSTENIBLE DE DES-CARBONIZACIÓN DE COMBUSTIBLES FÓSILES.



FUENTE: Dincer I. y Zamfirescu. C, "Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE", 2012.
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

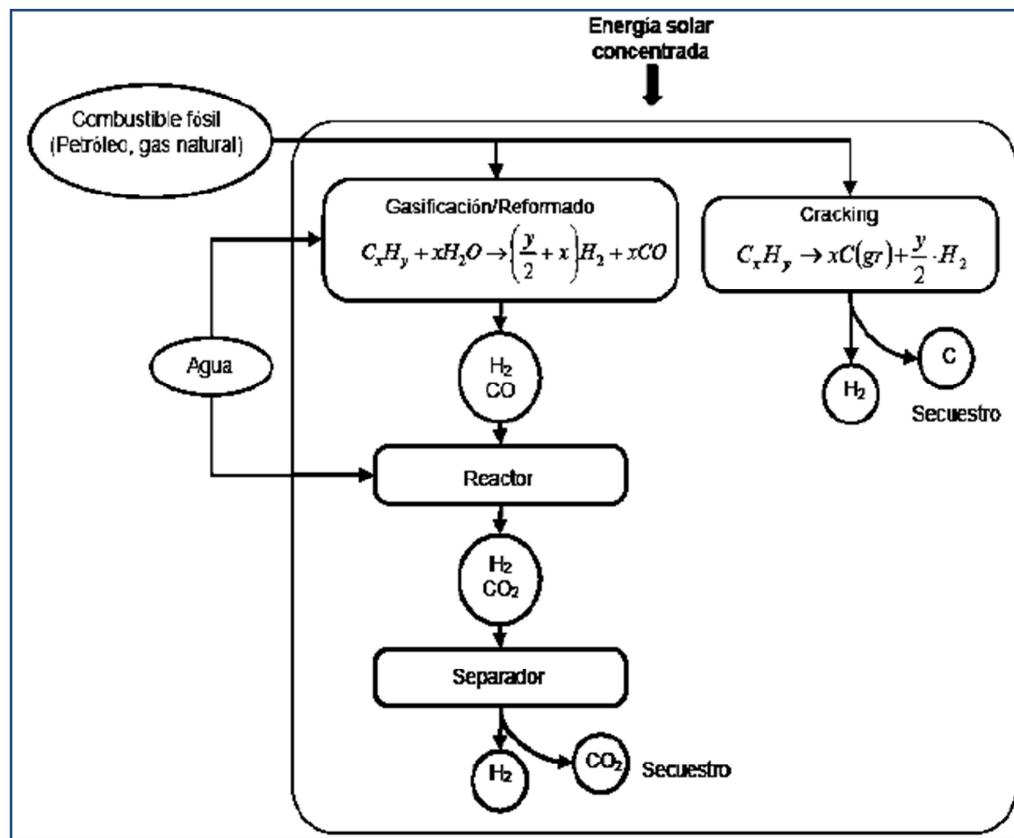
En general si se utiliza como fuente de hidrógeno a los combustibles fósiles en el proceso de debe realizar alguno de los siguientes procesos, para hacerlo sostenible dependiendo del recurso que se explote:

- Gasificación del carbón con captura y secuestro de CO₂.
- Reformado de hidrocarburos con captura y secuestro de CO₂
- Craqueo de hidrocarburos asistido por reacciones nucleares
- Craqueo de hidrocarburos asistido por energía solar.
- Craqueo de hidrocarburos por plasma (se obtiene acetileno, metano e hidrógeno).⁴⁸

El proceso conjunto de la des-carbonización de los combustibles fósiles mediante la producción termoquímica de hidrógeno se presenta en la figura N°2.15.

48. Dincer I. y Zamfirescu. C, 2012, "Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 16266-16286

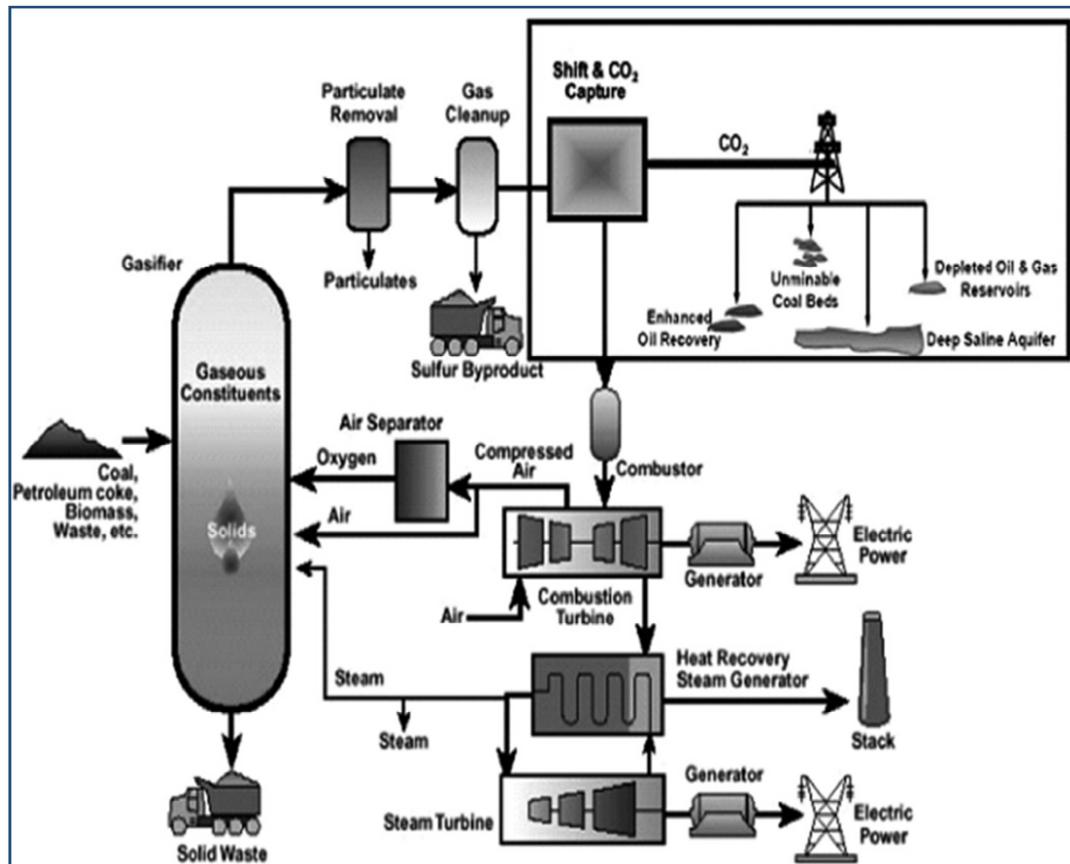
FIGURA N°2. 15. PRODUCCIÓN TERMOQUÍMICA DE HIDRÓGENO A PARTIR DE COMBUSTIBLES FÓSILES Y AGUA.



FUENTE: Yoder A.L., “El hidrógeno como fuente alterna de energía”, 2007.

Para que el carbón permanezca generando energía eléctrica en un ambiente restringido de CO_2 , se deben desarrollar tecnologías de captura y almacenamiento. Un ejemplo de esto son las plantas de ciclos combinados con gasificación integrada (IGCC), que provee el potencial más grande de minimización de emisiones asociadas al uso de carbón para producir electricidad, como se indica en la figura N°2.16.

FIGURA N°2. 16. ESQUEMA DE UNA PLANTA IGCC CON CAPTURA Y SECUESTRO DE CO₂.



FUENTE: Sánchez G.L y Beltrán H.M, "Residuos del petróleo como parte de una transición energética. Ciclos combinados con gasificación integrada, captura y secuestro de CO₂.", 2009.

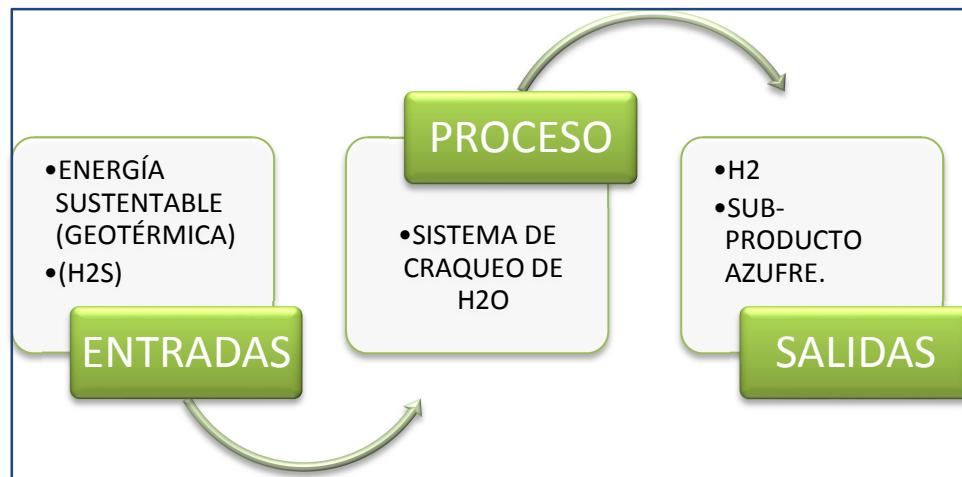
Las plantas IGCC convierten el carbón en gas sintético, de poder calorífico similar al del gas natural, por lo que se conoce como gas natural sintético. El cercano al límite inferior está formado principalmente por H₂ y CO, mientras que el límite superior contiene más CH₄.

Antes de quemar el gas de síntesis, las impurezas pueden ser removidas desde el combustible, haciéndola más efectiva y eficiente que las plantas convencionales de carbón que requieren de una limpieza post combustión.

- ✓ Por descomposición de sulfuro de hidrógeno: Existen varias vías para extraer hidrógeno del sulfuro de hidrógeno (H₂S). El sulfuro de hidrógeno es recurso natural que se encuentra en los pozos geotérmicos, volcanes,

aguas termales, pozos de petróleo, agua de pozo, lagos o el mar.⁴⁹ Los métodos básicos son el craqueo térmico utilizando calor de alta temperatura, la descomposición de arco de plasma y la electrólisis. Todos los métodos conducen a la generación de hidrógeno con el azufre como subproducto. (Véase figura N°2.17)

FIGURA N°2. 17. DESCOMPOSICIÓN DE SULFURO DE HIDRÓGENO.



FUENTE: Dincer I. y Zamfirescu. C, "Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE", 2012.
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Estudios recientes han demostrado que las aguas profundas del Mar Negro tienen un recurso de 4.6 millones de toneladas de H₂S generados por la actividad bacteriana anaerobia que puede generar un potencial de extracción de hidrógeno de 270 millones de toneladas. Actualmente no hay ningún método disponible comercialmente para producir hidrógeno a partir de H₂S.

El craqueo térmico catalítico de sulfuro de hidrógeno genera dos productos importantes, que son el hidrógeno y el azufre según la reacción (7):



Las membranas de separación catalíticas a base de una combinación de vidrio y alúmina permiten la entrada de hidrógeno de la descomposición en el reactor del H₂S, representando uno de los métodos de craqueo más

49. Ibrahim Dincer, 2012, "Green methods for hydrogen production", IEA (International Energy Agency) (2011b): Deploying Renewables. Best and Future Policy Practice, OECD/IEA, Paris. 1954-1971.

prometedores. Este método de craqueo utiliza catalizadores para mejorar su rendimiento, como di-sulfuro de molibdeno (MoS_2), WS_2 , NiW , NiMo y alúmina. Dos pasos termoquímicos de la extracción de hidrógeno provenientes del H_2S fueron investigados, aplicando metales de diversas valencias, que operan de acuerdo con:⁵⁰



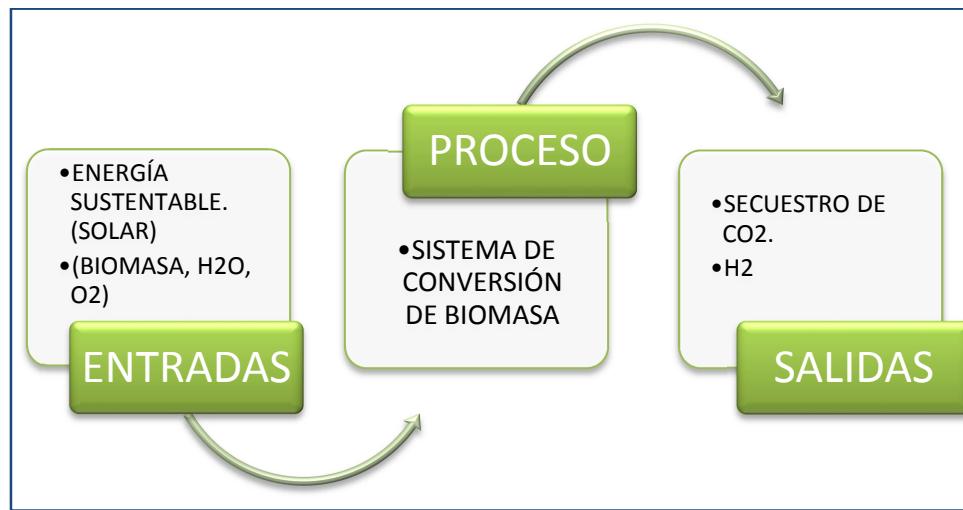
Donde, M representa el metal.

- ✓ Conversión de biomasa: El uso de biomasa conlleva algunas ventajas y desventajas, entre los aspectos favorables se puede anunciar que es el mayor contribuyente a nivel mundial (3.37% para generación de energía eléctrica), los recursos disponibles de biomasa son extraordinariamente abundantes en el mundo, por lo que se la considera una de las fuentes renovables con mayor potencial de desarrollo, se considera de igual forma que podría suplir al carbón o al gas natural como combustible alternativo, también es usada en plantas de cogeneración que pueden capturar el 85% al 90% del aporte energético mediante la utilización de calor residual, así como la energía eléctrica, presenta ventajas económicas al ser un motor generador de empleo en las zonas rurales y reduce las presiones económicas sobre la producción agropecuaria y forestal.⁵¹

Por otro lado las desventajas de este recurso aplicado en la gasificación son: limitación de superficie de tierras disponibles, eficiencia de la fotosíntesis, suministro de agua y limitación de materia prima concentrada disponible a nivel local, debido a que el costo de producción por transporte de ésta materia prima hasta las centrales gasificadoras aumenta.⁵²

-
50. Ibrahim Dincer, 2012, “*Green methods for hydrogen production*”, IEA (International Energy Agency) (2011b): Deploying Renewables. Best and Future Policy Practice, OECD/IEA, Paris. 1954-1971.
 51. Nassoy E, “Obtención de biocarburantes por síntesis de CO e H”, Director: Julio Montes Ponce de León, ICAI-Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España, p. 80
 52. Parra H.H, 2010, “Perspectivas de la cogeneración con gasificación de combustibles residuales en México”, Tesis de pregrado, Director: Dr. Alberto Elizalde Baltierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F, México, p.p 123, 124.

FIGURA N°2. 18. SISTEMA DE CONVERSIÓN DE BIOMASA.



FUENTE: Dincer I. y Zamfirescu. C, "Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE", 2012.
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Existen algunas vías para la extracción de hidrógeno a partir de biomasa.

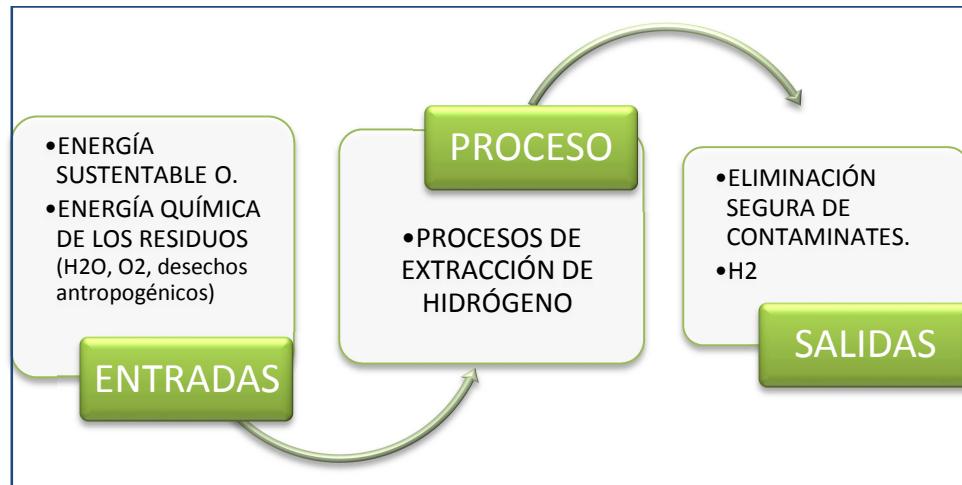
Algunos de estos procesos son:

- Producción de hidrógeno termoquímica por gasificación.
- Procesos biológicos, como la digestión anaeróbica o aeróbica dependiendo de la materia prima.
- La energía solar se puede utilizar en conjunto con algunas algas y bacterias para generar hidrógeno a través de los procesos foto-biológicos.

En estos procesos se utiliza agua como complemento a la fuente de hidrógeno.

- ✓ Extracción de hidrógeno a partir de residuos: Existen fuentes importantes de hidrocarburos presentes en los materiales de desechos plásticos como resultado de la actividad humana, de los cuales el hidrógeno puede ser reformado por métodos termoquímicos. (Véase figura N°2.19)

FIGURA N°2. 19. EXTRACCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE DESECHOS.



FUENTE: Dincer I. y Zamfirescu. C, "Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE", 2012.
ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

El calor nuclear (subproducto de reacciones nucleares) se puede utilizar para gasificar carbón y secuestrar CO₂ o para reformar hidrocarburos fósiles. El biogás y gas de relleno sanitario son otros ejemplos de gas rico en hidrógeno como resultado de la agricultura o de desechos municipales. Las aguas residuales son una fuente importante de hidrógeno en las ciudades y aglomeraciones urbanas. El agua residual contiene importantes cantidades de urea y otros compuestos ricos en hidrógeno el mismo que puede ser extraído de las aguas residuales por métodos microbianos o método electroquímico.

En general los métodos de producción de hidrógeno que aquí se mencionan pueden ser aplicados en cualquier localidad o región que tenga acceso a las diferentes fuentes renovables, para hacer su producción de energía sustentable.

2.4.1 MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO, A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR.

Es importante mencionar que para los métodos anteriormente expuestos se puede aplicar en su mayoría el uso de este tipo de energía, para la producción de hidrógeno, pero es necesario conocer las posibilidades a desarrollar con la energía solar, debido a que en nuestro país es de vital importancia. El Ecuador debido a su ubicación geográfica recibe una de las radiaciones anuales más altas

a nivel mundial, y por otro lado la radiación solar que recibe la tierra en 10 días supera la cantidad de energía acumulada de las reservas de combustible fósiles estimadas en todo nuestro planeta. En el Ecuador no existe un registro histórico completo de radiación solar. El INAMHI tomó mediciones de heliofanía o radiación solar durante los años 1970 a 1990, luego el CONELEC en el 2008 contrató al NREL (National Renewable Energy Laboratory), para la elaboración del Mapa Solar del Ecuador.⁵³

Los métodos para producir hidrógeno mediante energía solar se agrupan en 3 grandes categorías: procesos fotoquímicos, electroquímicos y termoquímicos, no obstante estos pueden combinarse.

Los sistemas más útiles son aquellos que hacen uso de la energía solar concentrada, como por ejemplo:

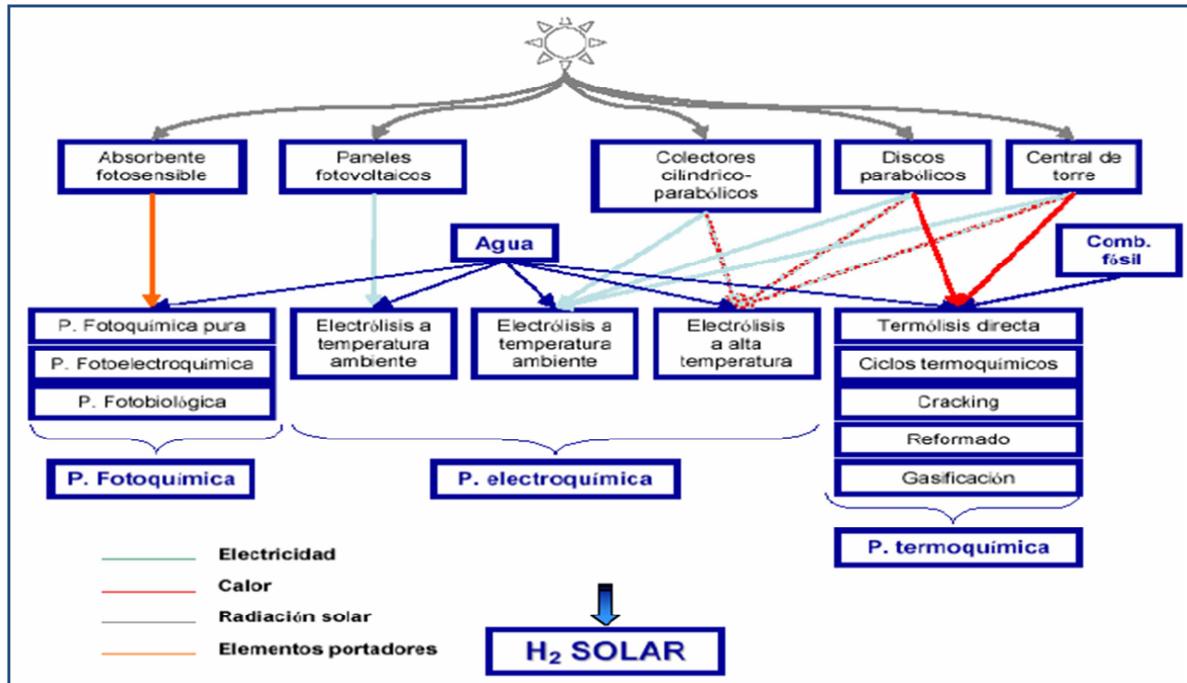
- La electrólisis a alta temperatura del vapor de agua, a partir de colectores cilíndricos-parabólicos, discos parabólicos. Este tipo de sistema es ventajoso respecto a la electrólisis a temperatura ambiente, ya que demanda de menor energía.
- Métodos termoquímicos como: termólisis directa, ciclos térmicos, cracking, reformado y gasificación de hidrocarburos.
- En general el rendimiento de conversión de la energía solar a energía química, evalúa el potencial industrial de un proceso. Los procesos de conversión energética solar que trabajan a alta temperatura aumentan la eficiencia, ya que se necesitaran colectores solares de menor área para producir una cantidad de hidrógeno, y por lo tanto requiere de menor inversión en la mitad de la inversión total del sistema.⁵⁴

Los procesos por los que se puede obtener hidrógeno a partir de energía solar se puede observar en la figura N°2.20.

53. Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10, Por Decreto Ejecutivo N° 3970 15 de Julio 1996, "Energía Renovable. Sistemas de calentamiento de agua con energía solar para uso sanitario en el Ecuador", Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción, Parte 14-1, 20.

54. Yoder A.L., 2007, "*El hidrógeno como fuente alterna de energía*".

FIGURA N°2. 20. MÉTODOS DE PRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO, A PARTIR DE ENERGÍA SOLAR.



FUENTE: Yoder A.L., "El hidrógeno como fuente alterna de energía", 2007.

2.5. ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD.

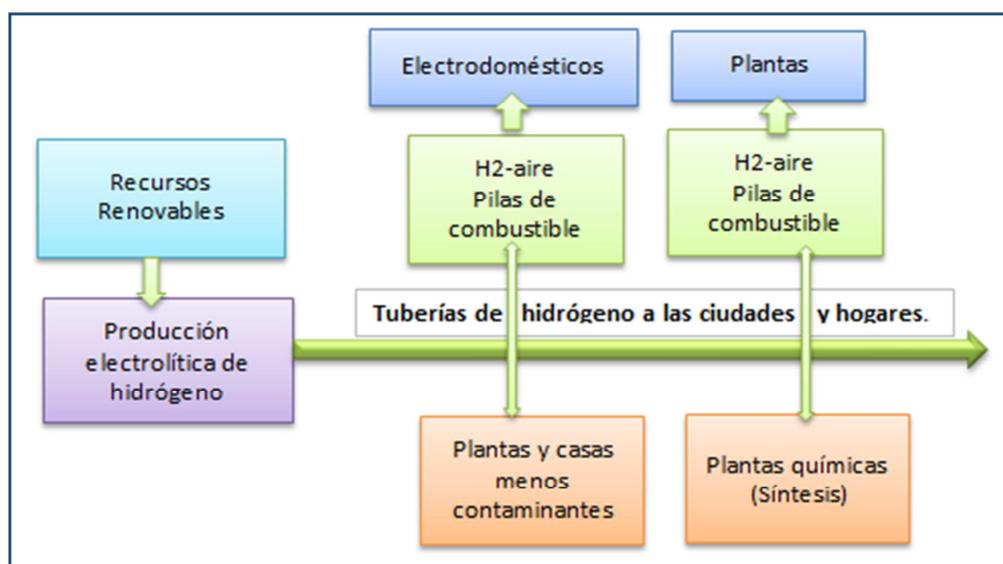
El hidrógeno se mira como la solución a los problemas de combustibles en el mundo y del medio ambiente, por lo que nace el término "Economía del hidrógeno" que se refiere a la utilización del hidrógeno para el transporte de energía a partir de fuentes de energía renovables intermitentes y variables (como la nuclear, solar, eólica, oceánica) a grandes distancias y almacenarlo en grandes cantidades para suministrar a las ciudades, como se muestra en la figura N°2.21.⁵⁵

En los últimos años el hidrógeno también ha sido objeto de fuertes cambios, con una serie de alternativas, desde baterías, super-condensadores, almacenamiento térmico, hasta aprovechamiento de energía renovable según la geografía del lugar que pueden ser distribuidos a gran escala.

55. Bockris J.O'M., 2002, "The origin of ideas on a Hydrogen Economy and its solution to the decay of the environment", Pergamon, International Journal of Hydrogen energy 27 (2002) 731-740.

Para cambiar y desarrollar la visión original de una economía del hidrógeno, se han realizado estudios como los que realizó la Agencia Internacional de la Energía, la misma que investigó las consecuencias de la introducción del hidrógeno y las pilas de combustible, las cuales podrían reducir las emisiones de CO₂ en un 5% para el 2050 en comparación a medidas eficientes como el despliegue de vehículos híbridos (gasolina-eléctricos) y los combustibles alternativos como el etanol.⁵⁶

FIGURA N°2. 21. ESQUEMA DE LA “ECONOMÍA DEL HIDRÓGENO”.



FUENTE: Bockris J.O.M, "The origin of ideas on a Hydrogen Economy and its solution to the decay of the environment", 2002.

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

La visión actual de la economía del hidrógeno propone darse cuenta de los aspectos positivos y negativos relacionados con la situación mundial de los combustibles fósiles por el hidrógeno, se puede citar algunos aspectos:

- ✓ Se tiene una expectativa general de que el hidrógeno puede reducir la creciente dependencia del petróleo y el gas natural, que hasta ahora han sido importados, de áreas políticamente dudosos.
- ✓ Otra ventaja relacionada al hidrógeno es el costo relativamente bajo disponible en el mercado en la actualidad, siendo menor que el precio del petróleo.

56. Andrews J, Shabani B., 2012, "Re-envisioning the role of hydrogen in a sustainable energy economy", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 1184-1203.

- ✓ El hidrógeno es un combustible amigable con el ambiente, ya que resultado de su combustión es la formación de vapor de agua, siempre y cuando en el proceso de generación de hidrógeno no sea a partir de combustibles fósiles, que también resultaría en emisión de gases efecto invernadero.
- ✓ El uso de autos impulsados por hidrógeno, reducirán las emisiones de gases efecto invernadero en las zonas urbanas.
- ✓ Se estima que el mercado potencial para el hidrógeno como combustible será comparable a los actuales mercados para el gas natural, el carbón y la gasolina combinados.

Por lo tanto la disponibilidad de hidrógeno tendrá un impacto importante en el escenario mundial de la energía, la sociedad y el medio ambiente.

El desarrollo de las tecnologías y la aplicación de la economía del hidrógeno relacionadas con el hidrógeno es coordinado internacionalmente por la Asociación Internacional para la Economía del Hidrógeno (IAHE). Sus objetivos son:

- ✓ Intensificación de la colaboración bilateral y multilateral en materia de tecnologías de hidrógeno.
- ✓ Recomendación de prioridades de investigación.
- ✓ Desarrollo de normas y reglamentos.
- ✓ Abordar problemas técnicos, financieros, jurídicos, socioeconómicos y políticos.

Para poder cumplir con esta visión, básicamente se depende de dos factores⁵⁷:

1. Cuando el suministro de combustibles fósiles, no cumpla con la demanda energética.
2. Cuando el calentamiento global debido a los gases efecto invernadero basados en CO₂, haya alcanzado temperaturas demasiado calientes para que la vida normal pueda continuar, sin proteger a las generaciones futuras de un desastre ambiental.

57. Bockris J.O'M., 2002, "The origin of ideas on a Hydrogen Economy and its solution to the decay of the environment", Pergamon, International Journal of Hydrogen energy 27 (2002) 731-740.

Estos factores sumados a la falta de interés en el desarrollo del hidrógeno, han sido la razón principal por la que el potencial del hidrógeno no ha sido explotado antes. El bajo costo de la gasolina y su amplia disponibilidad, en algunos países, también el aumento del consumo de gasolina se tradujo en un aumento de su producción, al parecer sin ningún tipo de limitaciones de una forma claramente errónea, ha incidido en el incremento del precio del petróleo.⁵⁸

Por lo tanto, actualmente la “Economía del hidrógeno” en forma general es vista como el reemplazo de la mayoría de los combustibles derivados de petróleo utilizados por los vehículos de transporte de todo tipo (automóviles, camiones, trenes y aviones) con hidrógeno que se quema en motores de combustión interna, motores de combustión externa (jet), o de manera preferencial, usando pilas de combustible más eficientes en generación de potencia de transporte. En muchos países el objetivo de la economía del hidrógeno a largo plazo es poder conferir la seguridad energética, junto con los beneficios económicos y ambientales. Donde cualquier futura economía del hidrógeno tendrá que resolver problemas desafiantes envueltos con la síntesis de hidrógeno, el almacenamiento, distribución y utilización en todos los sectores de la economía de la energía y transporte incluidos.⁵⁹

Como se puede observar se necesitan de varios factores para poder introducir al hidrógeno como vector energético, sin embargo la aceptación de la sociedad juega un papel fundamental en el proceso. En general se han realizado estudios científicos de la percepción pública de la tecnología del hidrógeno con énfasis en la movilidad. La mayoría de estos estudios han utilizado métodos cuantitativos, empleando preguntas estandarizadas para inspeccionar a los pasajeros de los autobuses propulsados por hidrógeno. Otros estudios sobre la aceptación de la tecnología del hidrógeno en el sector de la movilidad se han realizado en Gran Bretaña, los Países Bajos, Suecia, Islandia, Canadá y EE.UU. En general los estudios han arrojado resultados con una perspectiva de aceptación, donde el público parece tener una actitud positiva hacia las tecnologías del hidrógeno en el

58. Nowotny J. y Veziroglu N., 2011, “*Impact of hydrogen on the environment*”, Elsevier, Energy 36 (2011) 13218-13224.

59. Balat M., 2008, “*Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems*”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 33 (2008) 4013-4029, pp. 4024, 4025.

momento. Aunque el público sigue siendo en gran parte inconsciente del hidrógeno (potencial energético) y pilas de combustible (sector del automóvil), y que el espacio para experiencias individuales con vehículos impulsados por hidrógeno es aún muy pequeña; no obstante, algunos expertos están preocupados por los posibles riesgos del hidrógeno y las pilas de combustible y sus consecuencias para la aceptación del público.

Un estudio realizado en Alemania por Zimmer y Welke (2012) sobre la aceptación del hidrógeno en la movilidad, pudo concluir que: la población tiene una actitud muy positiva hacia los autos impulsados por hidrógeno. En particular la posibilidad de movilizarse de forma individual y sin dañar el medio ambiente es atractivo, ya que la gente no se sentiría culpable. Sin embargo se vincula esto a la condición de que el hidrógeno generado debe ser “verde”, es decir producido con energías renovables, caso contrario no quitaría el sentimiento de culpa y por lo tanto no comprarían autos impulsados por hidrógeno. Por otro lado, los entrevistados no creían que las estaciones de abastecimiento de combustible de hidrógeno sean más peligrosas que los combustibles tradicionales. Y en cuanto a la aceptación del público en general de la tecnología del hidrógeno, expresaron que los políticos y los tomadores de decisiones deben preocuparse menos acerca de si la gente considera que es una tecnología insegura, en lugar de centrarse más en cuestiones como ver lo que la gente espera del hidrógeno en el mercado para ser en realidad producido por energías renovables.⁶⁰

2.6. MARCO LEGAL

El Estado Ecuatoriano, impulsa la producción de energía renovable no convencional, como el desarrollo de fuentes energéticas renovables que contribuyan a crear un modelo sustentable de generación de energía eléctrica. Esto está garantizado por la Constitución del Ecuador del 2008, que establece en su Art. 413: “*El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la*

60. Zimmer R. y Welke J., 2012, “Let's go green with hydrogen! The general public's perspective”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 17502-17508.

soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.”

Así también, El Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico en su Art.63 indica que el Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas. Además, el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC asignará fondos a proyectos de electrificación rural a base de recursos energéticos no convencionales tales como energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras de similares características. Se considerarán tarifas preferenciales para la generación eléctrica a partir de recursos renovables, las cuales competirán con la generación tradicional como se puede observar en la tabla N°5:

Por otro lado El Código Orgánico de la Producción, Comercio e Inversión publicado en el R.O N°. 351 del 29/12/2010, en sus Artículos 233, 234, 235 establece la implementación de procesos productivos que migran gradualmente hacia tecnologías más limpias, con un manejo sustentable y valoración adecuada de los recursos naturales. De la misma manera, se otorgarán preferencias a la iniciativa privada y a la economía popular para la prestación del servicio público de energía eléctrica, cuando la demanda no pueda ser cubierta por empresas públicas.

TABLA N°2. 5. PRECIOS PREFERENCIALES DE ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES EN EL ECUADOR.

Centrales	Territorio Continental (cUSD/kWh)	Territorio Insular Galápagos (cUSD/kWh)	Cupo por Tecnología (MW)
Eólicas	11.74	12.91	100
Solar termoeléctrica	25.77	28.34	10
Corrientes marinas	32.43	35.67	5
Biomasa y Biogás	11.08	12.19	100
Geotermia	13.81	15.19	200
Hidroeléctrica $C \leq 10$ MW	7.81		Sin cupo
Hidroeléctrica $10 < C \leq 30$ MW	6.86		Sin cupo
Hidroeléctrica $30 < C \leq 50$ MW	6.51		Sin cupo

cUSD: centavos de dólar de los Estados Unidos.

FUENTE: Muñoz V.J, “La matriz energética Ecuatoriana”,2013.

Por lo tanto, observando el apoyo del Estado ecuatoriano tanto en el ámbito legal como al momento de la realización de los proyectos en base a energía renovable teniendo el apoyo económico, es lógico pensar que se puede emprender en nuestro país métodos de producción de hidrógeno, basados en este tipo de tecnología, especialmente en con el uso de recursos renovables como es la solar, eólica, biogas y biomasa. Siendo así, la generación de energía limpia y amigable con el ambiente, puede convertirse en una realidad. Ejemplo de esto son los sistemas de producción de hidrógeno para generar energía eléctrica, que se planteó anteriormente y que son sostenibles.

CAPÍTULO III

DESARROLLO

3.1. DIAGNÓSTICO ACTUAL DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA A NIVEL MUNDIAL Y EN EL ECUADOR.

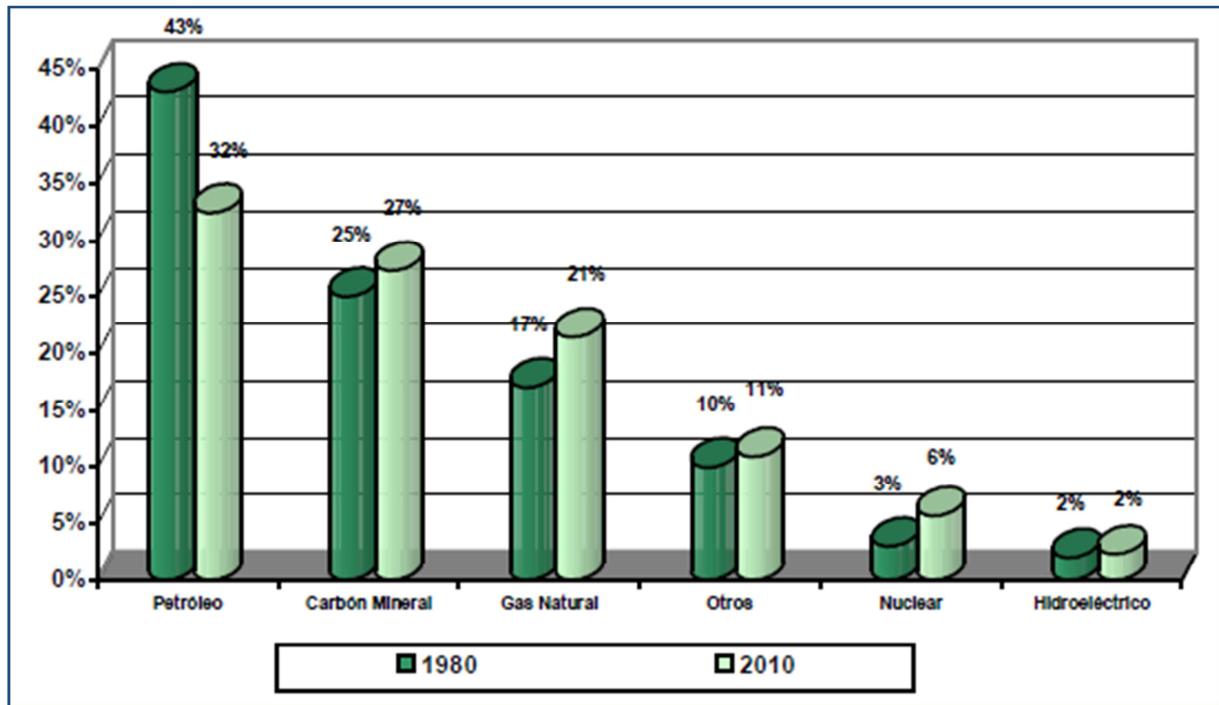
3.1.1. DIAGNÓSTICO A NIVEL MUNDIAL.

El modelo energético actual, basado en los combustibles fósiles como petróleo, carbón mineral y gas natural, los mismos que son grandes emisores de gases efecto invernadero, presentan serios problemas de sostenibilidad. Tomando en cuenta este panorama se ha dado importante atención a la preservación del ambiente y de los recursos naturales. Ejemplo de esto, en la 15° Conferencia Internacional sobre el Cambio Climático realizada en Copenhague, Dinamarca, en diciembre de 2009, se establecieron políticas y orientaciones para todos los países del mundo, una vez concluido el Protocolo de Kioto.^{61, 85.}

Considerando que se plantean cambios en la producción de la generación eléctrica, se debe analizar la matriz energética de cada país como un elemento básico para la planificación y aseguramiento del abastecimiento energético. En la figura N°3.1 se presenta la matriz energética mundial considerando la oferta y las participaciones de las diferentes fuentes de energía primarias de 1980 y 2010. Se puede observar que en un período de 30 años, se aumentó el consumo de combustibles fósiles, a pesar del esfuerzo de los gobiernos por reducir la dependencia de los mismos. Aunque si se nota una pequeña mejora respecto del uso de los combustibles, cambiando el petróleo (de 43% a 32.4%) por gas natural (de 17% a 21.4%), considerando que el gas natural emite menos CO₂, lo que resulta favorable para el ambiente.⁶²

-
- 61. Linares J.H y Moratilla B.S, 2007, "El hidrógeno y la energía", Asociación de Ingenieros del ICAI, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España, pp. 20.
 - 62. Muñoz V.J, 2013, "La matriz energética Ecuatoriana", Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador, pp. 5, 6, 7.

FIGURA N°3. 1. MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL (AÑOS 1980 Y 2010)



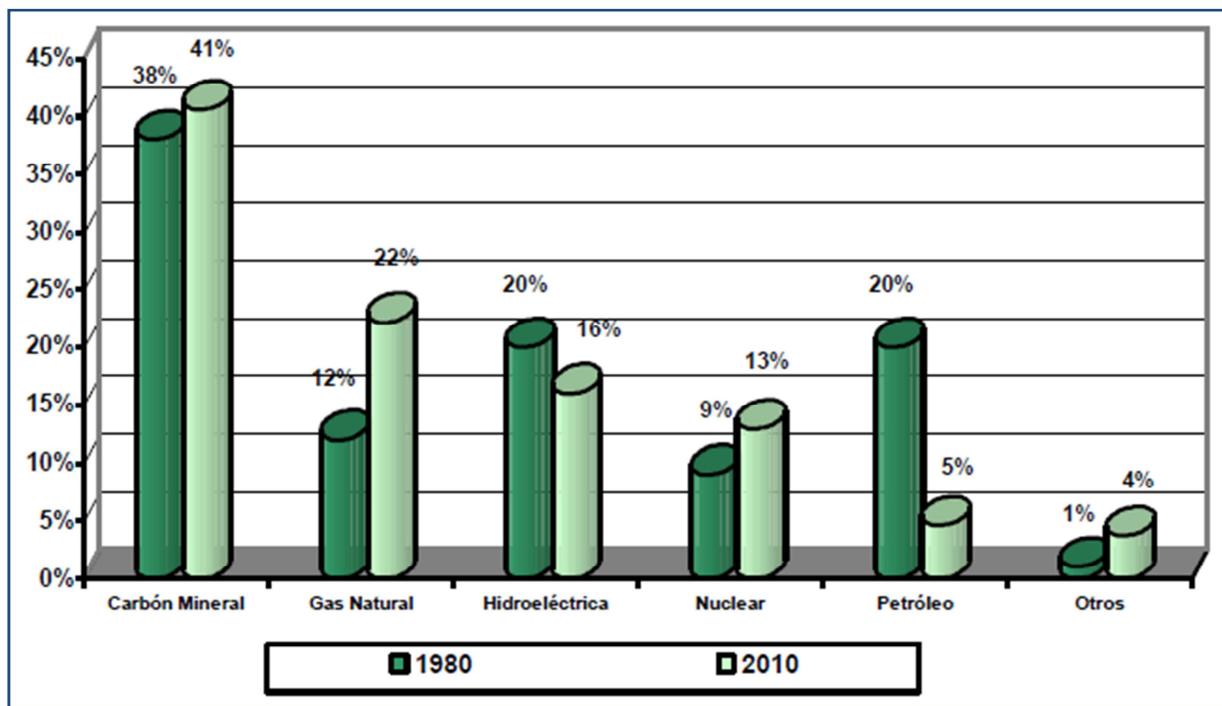
Nota: Otros incluye biocombustibles, geotermal, solar, eólico, etc.

FUENTE: IEA (International Energy Agency): *World Energy Outlook 2010*.

Aunque la matriz energética mundial, no presentó modificaciones estructurales significativas respecto al uso de fuentes primarias de energía. Sin embargo la participación de fuentes energéticas renovables es de escasamente del 13.1% en el abastecimiento actual de la demanda mundial de energía.

Particularmente la electricidad tiene elevada dependencia a nivel mundial de los combustibles fósiles, como se puede apreciar en la Figura N°3.2. El consumo mundial de energía eléctrica tuvo un crecimiento promedio anual de 3.3%, el cual ha sido impulsado mayormente por países en transición, en los que se presenta efectos de urbanización y cambio estructural de consumo debido al crecimiento económico.

FIGURA N°3. 2. MATRIZ DE ENERGÍA ELÉCTRICA MUNDIAL. (AÑOS 1980 Y 2010).



Nota: Otros incluye biocombustibles, geotermal, solar, eólico, etc.

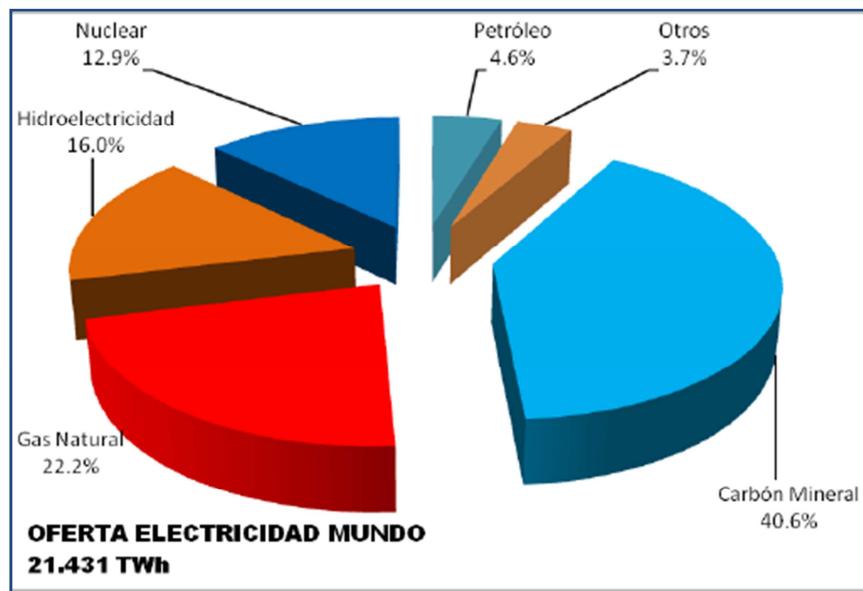
FUENTE: IEA (International Energy Agency): *World Energy Outlook 2010*.

Respecto a la producción mundial de energía eléctrica por el tipo de fuente, el carbón mineral es el que más se destaca en el mundo, alcanzando el 40.6%, mientras que la energía nuclear alcanza el 12.9% debido a que es utilizada ampliamente en países como Francia, Rusia, Corea del Sur, USA y Japón. Le sigue el gas natural con el 22.2%, la hidroelectricidad con el 16%, el petróleo y derivados con 4.6% y por último otros que incluye los biocombustibles, geotermal, solar, eólico, etc., con el 3.7%. Ver la Figura N°3.3

La participación de las energías renovables en la matriz eléctrica es del 19.7%, con tendencia a superar considerablemente este valor en los años venideros.⁶³

63. Muñoz V.J, 2013, "La matriz energética Ecuatoriana", Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador, pp. 5, 6, 7.

FIGURA N°3. 3. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPO DE FUENTE.



FUENTE: IEA (International Energy Agency): *World Energy Outlook 2010*.

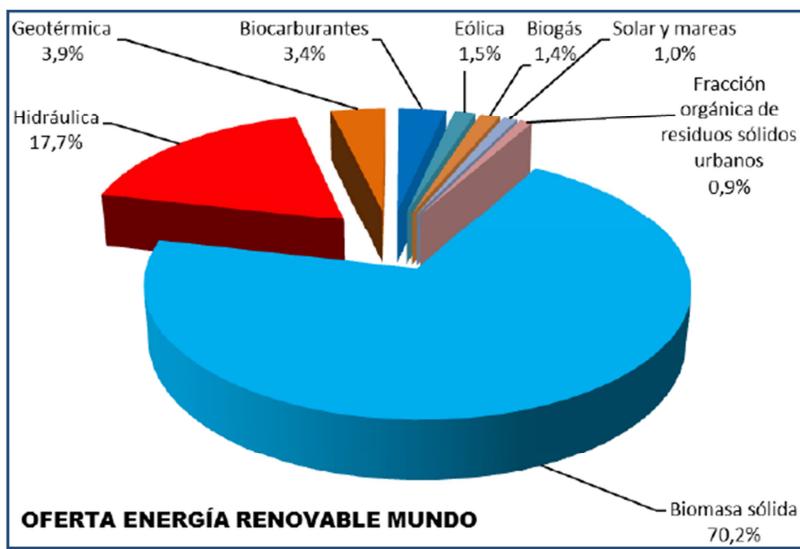
Para cambiar la producción energética en base a las fuentes tradicionales, se han buscado alternativas con la producción de energías mediante fuentes renovables, por lo que se ha realizado gran inversión al respecto, con un aumento drástico en el tiempo. Por ejemplo en el año 2004 la inversión fue de USD 22.000 millones, para pasar en el 2012 a USD 244.000 millones. Así como la cantidad de países que han establecido políticas de apoyo al respecto, pasando del 2005 con 55 países al 2012 con 138 países participantes.⁶⁴ Lo que conllevó a la instalación de 45 GW en centrales eólicas y 29 GW en centrales fotovoltaicas en el mundo durante el 2012. Las mismas que presentan ventajas directas en la disminución de emisiones de gases efecto invernadero, así como la de otros contaminantes locales, disminuir la dependencia energética, contribuyen también a la creación de empleo y desarrollo tecnológico.

En la Figura N°3.4 se puede observar un alto porcentaje en el uso de biomasa tradicional de tipo no comercial (para cocinar y calentar las viviendas), representa el 9.2% de la oferta mundial energética primaria total (OEPT) y el 70.2% de la oferta mundial energética renovable. En segundo lugar se encuentra la hidráulica

64. Muñoz V.J, 2013, "La matriz energética Ecuatoriana", Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador, pp. 5, 6, 7, 9,10.

con el 17.7% de energías renovables y 2.3% de la OEPT, seguido de la geotérmica con 3.9% de energías renovables y 0.5% de la OEPT. Los biocarburantes siguen con 3.4% de renovables y 0.4% de la OEPT. Entre la eólica, solar y mareomotriz cubren el 2.5% de renovables y 0.3% de OEPT.

FIGURA N°3. 4. PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN DEL RECURSO RENOVABLE EN ENERGÍA (2010).



FUENTE: IEA (International Energy Agency) (2011b): Deploying Renewables. Best and Future Policy Practice.

En general los países líderes en inversiones en energía renovable son China, India, Japón y Brasil, destacándose China desde el 2010. China tiene más de 130 millones de hogares provistos de agua caliente provenientes de centrales solares y más de la mitad de los paneles solares en todo el mundo.⁶⁵ Mientras que Brasil representa una oferta del 74% de generación eléctrica hidráulica y el total el 89% de energía originada por fuentes renovables.

El perfil de los países en desarrollo es característico de América Latina y el Caribe (LAC). América Latina representa aproximadamente el 9% de la población mundial, el 6,5% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial, el 6% del consumo mundial de energía y 5% de las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía en todo el mundo. LAC está constituida por 42 países, pero las desigualdades entre ellos son grandes. Cinco países (Brasil, México, Argentina, Colombia y

65. Sun Z., Liu F., Lui X., Sun B., Sun D., 2012, "Research and development of hydrogen fuelled engines in China", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 664-681.

Venezuela) representan el 72% de la población regional, el 82% de su PIB, el 80% de su consumo de energía, el 82% de su consumo de electricidad y el 80% de sus emisiones de CO₂⁶⁶

Se pronostica que la energía fotovoltaica podría producir 80 veces más electricidad que hoy en día para el 2050 y la eólica podría alcanzar una producción tres veces mayor que la actual para el 2020.

3.1.2. DIAGNÓSTICO EN EL ECUADOR.

La energía es fundamental para el crecimiento económico y de la sociedad. La producción y uso de energía alteran en gran medida el equilibrio ecológico del planeta. La quema de combustibles fósiles representa la fuente más importante de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que resulta en los cambios climáticos.⁶⁷ En Ecuador, las reformas en el sector eléctrico se iniciaron en 1996 con la promulgación de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE). Esta reforma fue diseñada para reducir la participación del gobierno y fomentar la inversión privada y una mayor eficiencia.

Bajo LRSE, el Estado tiene la responsabilidad de regulación y control de electricidad, con el sector privado, el mismo que ahora es capaz de poseer hasta el 51% de la generación, compañías de transmisión y distribución. Los cambios de la reforma ocurrieron en dos etapas: en la primera, las empresas estatales que poseen los servicios públicos de generación y transmisión se transformaron en corporaciones (sociedades anónimas) y la segunda, donde el Fondo de Solidaridad (FS) se convirtió en el principal accionista de estas empresas con el objetivo a largo plazo de concesionar o vender al sector privado.

Los objetivos esperados con la promulgación de la LRSE no se alcanzaron por completo debido a la política y a las barreras sociales; ya que no se logró la independencia total entre las empresas de generación, transmisión y distribución, porque el gobierno todavía tiene un mayor control en los servicios públicos de generación y de distribución. Esto permite al gobierno ejercer una considerable

66. Sheinbaum C., Ruiz J.B., 2012, "Energy context in Latin America", Elsevier, Energy 40.

67. Morales A.C y Sauer I.L., 2001, "Mitigation of greenhouse gas emissions originating from energy consumption by the residential sector in Ecuador", Energy for Sustainable Development, Volumen N°3.

influencia y la responsabilidad de asegurar la eficiencia operativa y confiabilidad del sector eléctrico. Por esta razón, se creó una ley para crear un Fondo de Inversión para los sectores de electricidad e hidrocarburos (FEISEH) que fue aprobado por el Congreso Nacional en septiembre 2006. Esta ley facilitaría la financiación de los proyectos hidroeléctricos de alta prioridad.

Al cabo de 40 años de explotación petrolera en la Amazonía, la economía ecuatoriana se mantiene altamente dependiente de los hidrocarburos, que representaron el 57% de las exportaciones entre el 2004 y 2010 y aportaron con el 26% de los ingresos fiscales entre el 2000 y 2010.^{68, 69} En Ecuador, los precios de la electricidad se determinan en el “mercado spot” (Oscullo, 2006).⁷⁰

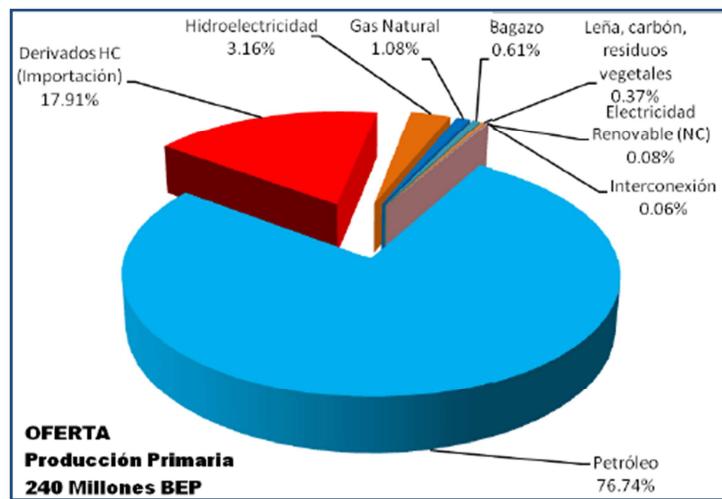
La Organización Latinoamericana de Energía - OLADE, cuya misión es contribuir a la integración, al desarrollo sostenible y la seguridad energética de los países latinoamericanos, asesorando e impulsando la cooperación y la coordinación entre sus miembros, ha adoptado el barril equivalente de petróleo (BEP) como unidad común para expresar los balances energéticos.

Por otro lado, respecto de la oferta de energías renovables, en el 2007 se instalaron tres aerogeneradores en la isla San Cristóbal, el mismo que cubre el 30% de la demanda de la electricidad de la isla. Y desde el 2005 en la isla Floreana funciona un parque fotovoltaico, cubriendo el 30% de energía eléctrica requerida en el archipiélago.⁷¹

En el año 2012 la oferta energética en el Ecuador estuvo predominada por el petróleo con un 76.7%, seguido de los derivados de petróleo con 17.9%, generación hidroeléctrica con el 3.2%, gas natural 1.1% y otros con el 1.1% de un total de 240.2 millones de BEP, como se muestra en la figura N°3.5. Mientras que la oferta de energía renovable (hidroelectricidad, bagazo, leña, carbón vegetal y electricidad renovable) en el mismo año en relación a la oferta total de energía alcanzó el 4.2%.

-
- 68. Muñoz V.J, 2013, “*La matriz energética Ecuatoriana*”, Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador.
 - 69. Peláez S.M, García P.M, Cortez L.B, Oscullo. J., Olmedo G., 2007, “Energy sector in Ecuador: Current status”, Elsevier, Energy Policy 35.
 - 70. Oscullo, J., 2006 “*Análisis de la Aplicación de Forwards en el Mercado Eléctrico: Caso Colombiano. Perspectivas de Aplicación al Ecuador.*” Master’s Dissertation, UASB.
 - 71. Muñoz V.J, 2013, “*La matriz energética Ecuatoriana*”, Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador.

FIGURA N°3. 5. OFERTA ENERGÉTICA EN EL ECUADOR (2012).

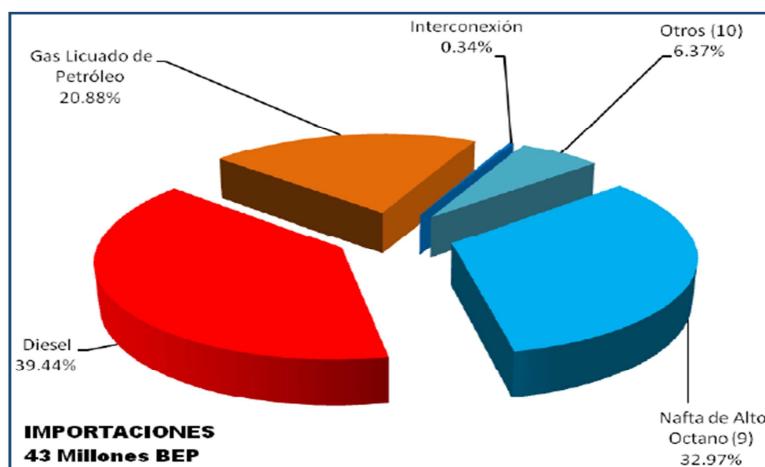


FUENTE: Muñoz V.J, "La matriz energética Ecuatoriana", 2013.

Con la explotación de los campos Ishpingo, Tambococha y Tiputini (ITT), en el Parque Nacional Yasuní, de acuerdo con las proyecciones de la Secretaría de Hidrocarburos, se estima que la producción para el 2016 llegará a valores cercanos a 600.000 barriles diarios.

En relación a las importaciones de energía, la mayor parte conforman los derivados de petróleo (diésel, naftas y GLP), que representa el 18 % de la oferta total energética, alcanzando en el 2012 el valor de 43.1 millones de BEP, de esta cantidad 0.1 millones BEP se debe a la importación de electricidad. El diésel, derivado de petróleo tiene una mayor importación con el 39.44%, como podemos observar en la figura N°3.6.

FIGURA N°3. 6. IMPORTACIÓN ENERGÉTICA DEL ECUADOR. (2012).



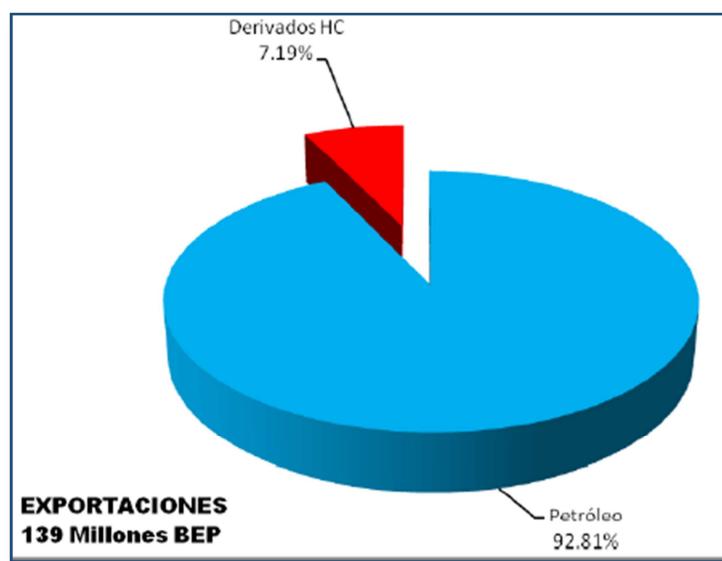
FUENTE: Muñoz V.J, "La matriz energética Ecuatoriana", 2013.

Mientras que la importación de energía, mediante interconexiones con los países vecinos Colombia y Perú, alcanzó el equivalente de 148 mil de BEP, siendo el valor más bajo en la última década.

En la figura N°3.7 se puede observar las exportaciones de energía, la mayor parte corresponde a crudo con 92.8% y el 7.2 restante a derivados como el fuel oil y nafta bajo octano. El total de las exportaciones representó el 58.2% de la oferta energética en el 2012.

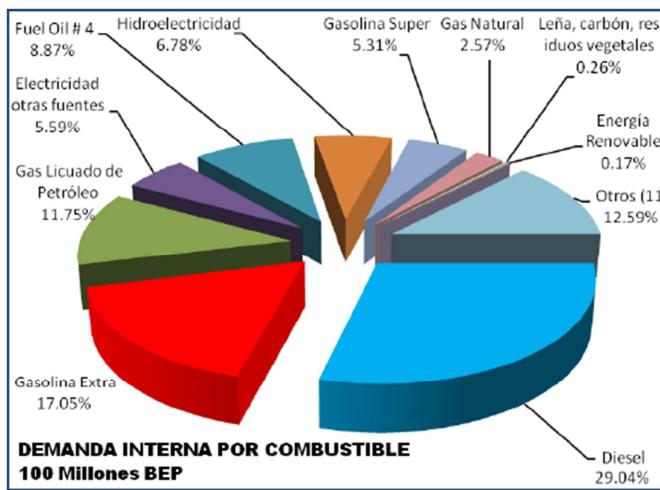
La demanda energética en el Ecuador alcanzó 100.7 millones BEP en el 2012, en donde el diésel es el más consumido con 29 % especialmente en transporte y generación termoeléctrica, seguido de la gasolina extra con 17.0 %, GLP con el 11.7% usado principalmente en el sector doméstico en la preparación de alimentos, fuel oil con el 8.8%, hidroelectricidad con el 6.7%, electricidad mediante otras fuentes con 5.5%, gasolina súper con el 5.3%, usado comúnmente en el transporte. Ver figura N°3.8.

FIGURA N°3. 7. EXPORTACIÓN DE PETRÓLEO Y DERIVADOS EN EL ECUADOR (2012).



FUENTE: Muñoz V.J, "La matriz energética Ecuatoriana", 2013.

FIGURA N°3. 8. DEMANDA INTERNA POR COMBUSTIBLE EN EL ECUADOR (2012).

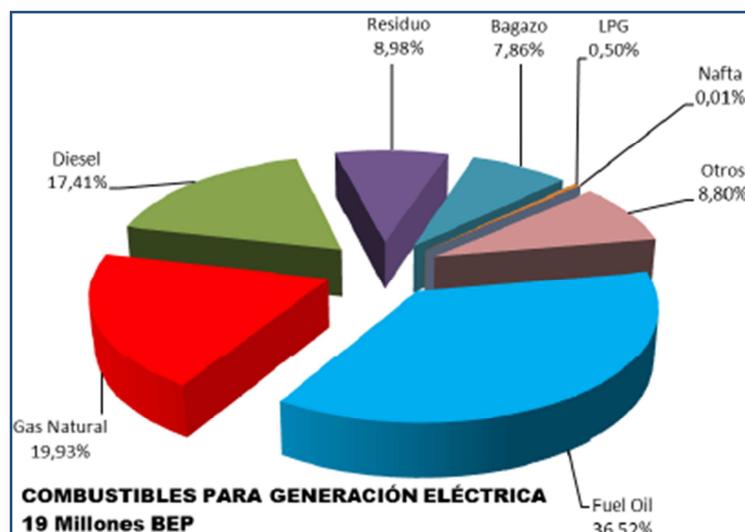


FUENTE: Muñoz V.J, "La matriz energética Ecuatoriana", 2013.

En el Ecuador es abastecido por fuentes de energía renovable, que representan el 7.21% de la demanda total de energía, como son la hidroelectricidad, leña, carbón vegetal, residuos vegetales, fotovoltaica y eólica.

Respecto a la demanda de derivados para la generación eléctrica, se utilizó 18.7 millones BEP en combustibles, a través de su parque termoeléctrico, valor que representa el 7.8% de la oferta total de energía, o el 18.6% de la demanda de energéticos en el país. (Véase figura N°3.9)

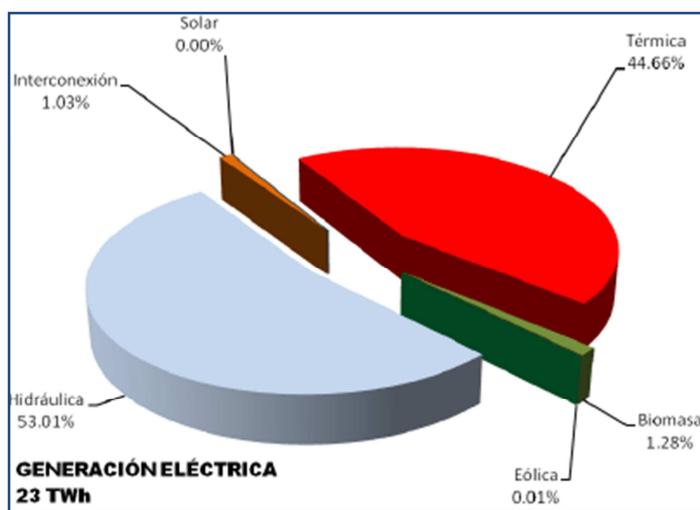
FIGURA N°3. 9. DEMANDA DE DERIVADOS PARA GENERACIÓN ELÉCTRICA.



FUENTE: Muñoz V.J, "La matriz energética Ecuatoriana", 2013.

La producción de energía eléctrica en el 2012 alcanzó los 26.6 millones de BEP, donde la producción de las centrales de energía eléctrica representó el 11.1% de la oferta de energía, así como el 26.4% del consumo interno de energía.

FIGURA N°3. 10. GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL ECUADOR.



FUENTE: Muñoz V.J, "La matriz energética Ecuatoriana", 2013.

La demanda de energía se distribuye de la siguiente manera: 26.57% pertenece a la E.E. Pública de Guayaquil, 20.60% a la E.E. Quito, el 35.15% a diez Empresas Distribuidoras que son parte de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) EP, 16% a siete Distribuidoras restantes, y el 1.69% a Consumos Propios y a las exportaciones a Colombia y Perú. A continuación se presenta la tabla N°3.1, la información general del mercado eléctrico ecuatoriano, en el año 2012, para la energía del Sistema Nacional Interconectado para el servicio público.

El término consumo propio, se asigana a la demanda de potencia y energía de la instalación o instalaciones de una persona natural o jurídica que a su vez es propietaria, accionista o tiene participaciones en la empresa autoproductora.⁷²

72. REGULACIÓN No. CONELEC - 001/02. Participación de los auto-productores con sus excedentes de generación. El directorio del consejo nacional de electricidad CONELEC.

TABLA N°3. 1. INFORMACIÓN GENERAL DEL MERCADO ELÉCTRICO ECUATORIANO. (2012).

Producción bruta total de energía	GWh	19 652,21
Producción bruta de energía hidráulica	GWh	12 112,68
Producción bruta de energía térmica	GWh	7 145,67
Producción neta total de energía	GWh	19 303,66
Producción neta de energía hidráulica	GWh	12 047,71
Producción neta de energía térmica	GWh	7 145,67
Importaciones desde Colombia*	GWh	236,03
Demanda de energía	GWh	18 605,91
Demanda máxima de potencia en bornes de generación	MW	3 206,73
Total de transacciones energéticas	GWh	19 306,13
Transacciones energéticas en Contratos Regulados	GWh	17 402,12
Otras transacciones energéticas	GWh	1 904,01
Total de transacciones económicas	Millones USD	884,64
Transacciones económicas en Contratos Regulados	Millones USD	662,33
Otras transacciones económicas	Millones USD	202,32
Precio medio Contratos Regulados	Ctvs. USD/kWh	3,81
Empresas de Distribución		9
Empresas de Generación		23
Empresa de Transmisión		1
Consumos Propios		50

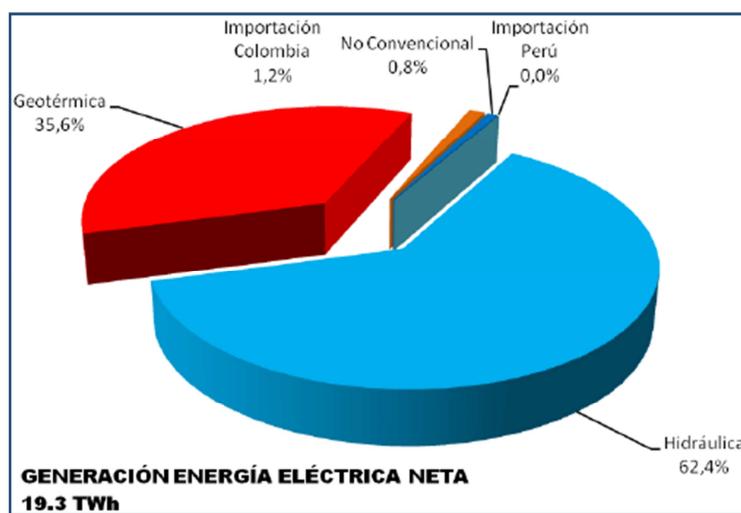
Nota: (*) Medido en Jamondino (Pasto) y Panamericana (Ipiales). Subestaciones fronterizas Colombianas.

FUENTE: CENTRO NACIONAL DE CONTROL DE ENERGÍA (CENACE), "Informe Anual 2012".

La demanda máxima de potencia del país medida en bornes de generación fue de 3.206,73 MW y se registró el miércoles 19 de diciembre del 2012 a las 19:30, mostrando un incremento del 5.9% en relación al año anterior.

En general la producción total neta de energía fue de 19.3 TWh, distribuida como se presenta en la figura N°3.11, para el año 2012.

FIGURA N°3. 11. GENERACIÓN DE ENERGÍA NETA EN EL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA.



FUENTE: Muñoz V.J, "La matriz energética Ecuatoriana", 2013.

3.2. ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR.

En el Ecuador la mayor parte de generación de energía eléctrica por fuentes renovables, proviene de la producción hidráulica con un 62.4% y geotérmica con 35.6%, como se indicó en el último punto. A su vez, el estado Ecuatoriano propone en su Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017, mantener la generación hidroeléctrica e impulsar proyectos que utilicen energías renovables como la geotérmica, biomasa, eólica y solar.

En el caso del equipamiento para los sectores de energía solar y eólica, se ha experimentado caídas acentuadas de los precios, unida a la reducción de las tasas de interés y aranceles en el proceso de importación, por lo que este tipo de energía se vuelve cada vez más competitivas en el mercado. Por ejemplo en el caso de la energía eólica actualmente representa el segundo menor costo unitario de generación de electricidad y en el caso de la generación solar su costo unitario ha disminuido considerablemente. Es decir el Ecuador tiene la capacidad de transformar su matriz energética constituida por combustibles fósiles a fuentes renovables y limpias.

En el país se han realizado una serie de convenios y acuerdos para impulsar este tipo de energía, entre ellos se puede mencionar:

- En el 2004, La Agencia Alemana de Energía en convenio con el Gobierno Ecuatoriano, lanzó el programa “Cubiertas Solares” en las regiones de mayor radiación solar.
- El Gobierno Ecuatoriano implementó paneles solares en ocho comunas del Golfo de Guayaquil.
- La Unión Europea y el Ecuador, emprendió el proyecto Eurosolar, para dotar a 91 comunidades rurales de electricidad, con una inversión de USD 4.72 millones, el Estado aportará el 20%.
- El Fondo de Energización Rural y Urbano Marginal (FERUM), en el 2008 impulsa proyectos de energización rural mediante sistemas fotovoltaicos, entre ellos el Proyecto “Yantsa”, ubicado en la provincia de Morona

Santiago, para atender a 119 centros shuar. La inversión fue de USD 7.5 millones.⁷³

- El Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), entre el 2011-2012 aprobó la instalación de 17 proyectos de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos en Imbabura, Manabí, Santa Elena, Loja, entre otras provincias, con el 6% de la capacidad instalada de generación en el país. Los proyectos tienen una inversión de USD 700 millones, se espera que entren en operación hasta el 2015.

Para respaldar la instalación y ejecución de estos proyectos el CONELEC desarrollo en el 2008 el Atlas Solar con Fines de Generación Eléctrica, el mismo que permite conocer la insolación diaria sobre una superficie horizontal en celdas de aproximadamente 40 km por 40 km.

Los datos que presenta el CONELEC en su mapa de Insolación Global Promedio, representan la energía solar global promedio de los valores diarios de insolación total expresados en Wh/m²/día. Donde la insolación que llega a la superficie terrestre puede ser directa o difusa. La insolación global será la suma de las insolaciones directa y difusa.

En la figura N°3.12, las zonas con mayor insolación en el país y por lo tanto con mayor potencial para generación fotovoltaica se presenta en las provincias de Loja, Imbabura, Carchi, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas. Con radiaciones entre los 4700 a 4920 Wh/m²/día, en donde el valor máximo es de 5748 Wh/m²/día, el valor mínimo es de 3634 Wh/m²/día, el valor promedio es 4574.99 Wh/m²/día; sin embargo en otros lugares del Ecuador continental se presentan variaciones del 30% y más del 40% comparados con las islas Galápagos.

El potencial solar estimado con fines de generación eléctrica en el país es 456TWh por año o 283 millones de BEP por año, tomando en cuenta las zonas de terrenos aprovechables, sin afectar la soberanía alimentaria. Siendo un valor

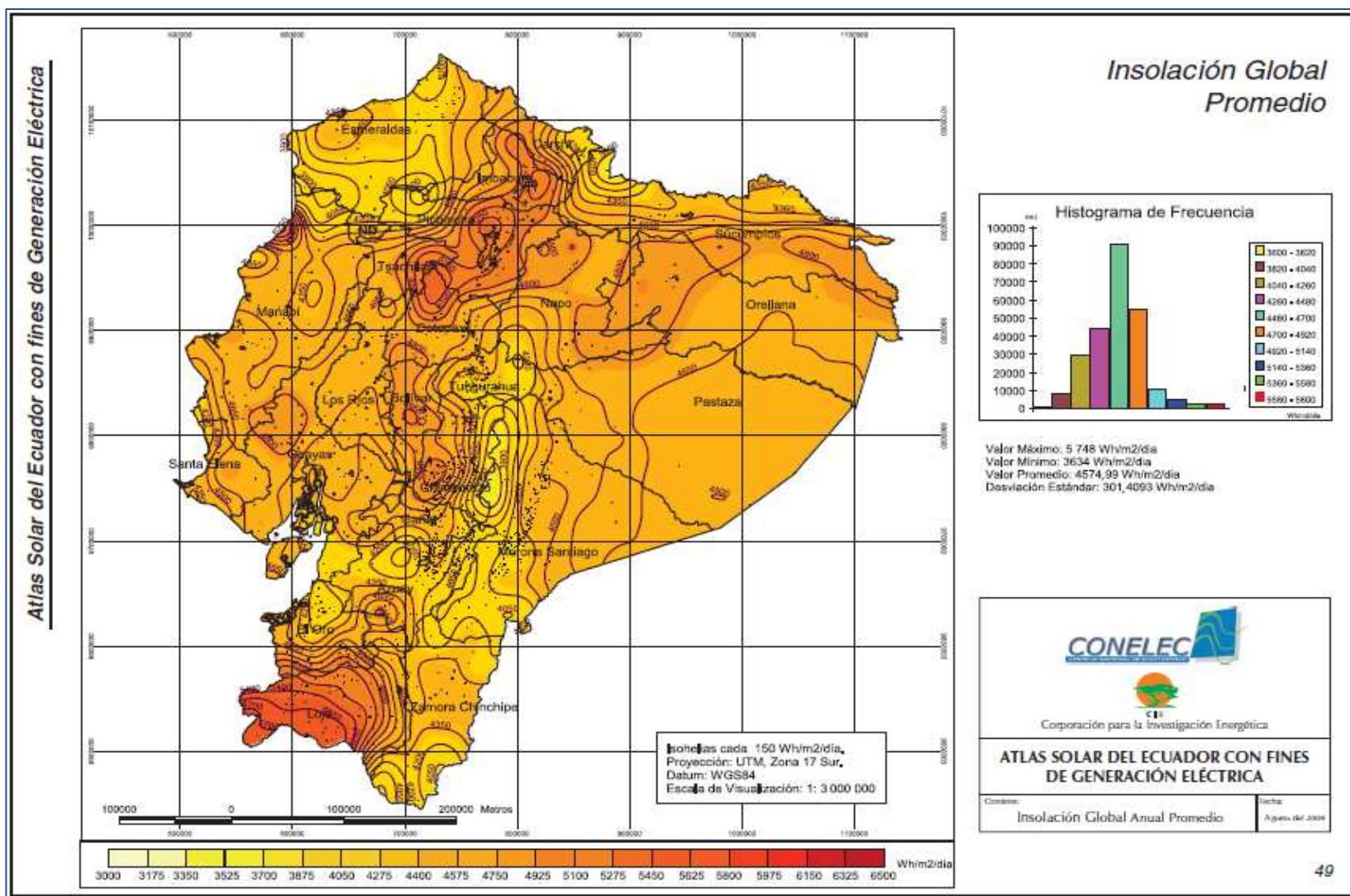
73. Muñoz V.J, 2013, “*La matriz energética Ecuatoriana*”, Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador.

equivalente a 15 veces el potencial hidroeléctrico técnico y económico aprovechable del país.⁷⁴

De igual manera el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) realizó el “Atlas Eólico del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica. Quito 2012”, en donde se pudo identificar las condiciones anuales del viento con una resolución de 200 m por 200 m. Para la elaboración de los mapas se consideró dos escenarios: el primero fue el Potencial bruto Total que consideró todos los sitios bajo 3500 m.s.n.m con velocidades mayores a 7 m/s, el segundo escenario, fue el Potencial Factible a Corto Plazo, el cual consideró también estas restricciones, además de los sitios que están a una distancia menor o igual a 10 km de la red eléctrica y carreteras.

74. Muñoz V.J, 2013, “*La matriz energética Ecuatoriana*”, Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador.

FIGURA N°3. 12. MAPA SOLAR DE ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA.



FUENTE: CONELEC, "Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica", 2008.

En estos mapas se puede observar que en las provincias geográficamente centrales del nuestro país es en donde se presenta la mayor velocidad del viento. Para el Potencial Bruto se registró un valor de 1670.96 MW lo que se traduce en 2868.98 GWh/año, presentes en las provincias Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay, El Oro, Zamora Chinchipe y Loja como se presenta en la Figura N°3.13.

Mientras que para el Potencial Factible a Corto Plazo, se encuentran cumpliendo las condiciones mencionadas anteriormente, las siguientes provincias, Carchi, Imbabura, Pichincha, Bolívar, Chimborazo, Cañar, Azuay y Loja con un potencial factible de 884.22 MW valor que representa 1518.17 GWh/año. (Vease Figura N° 3.14.)

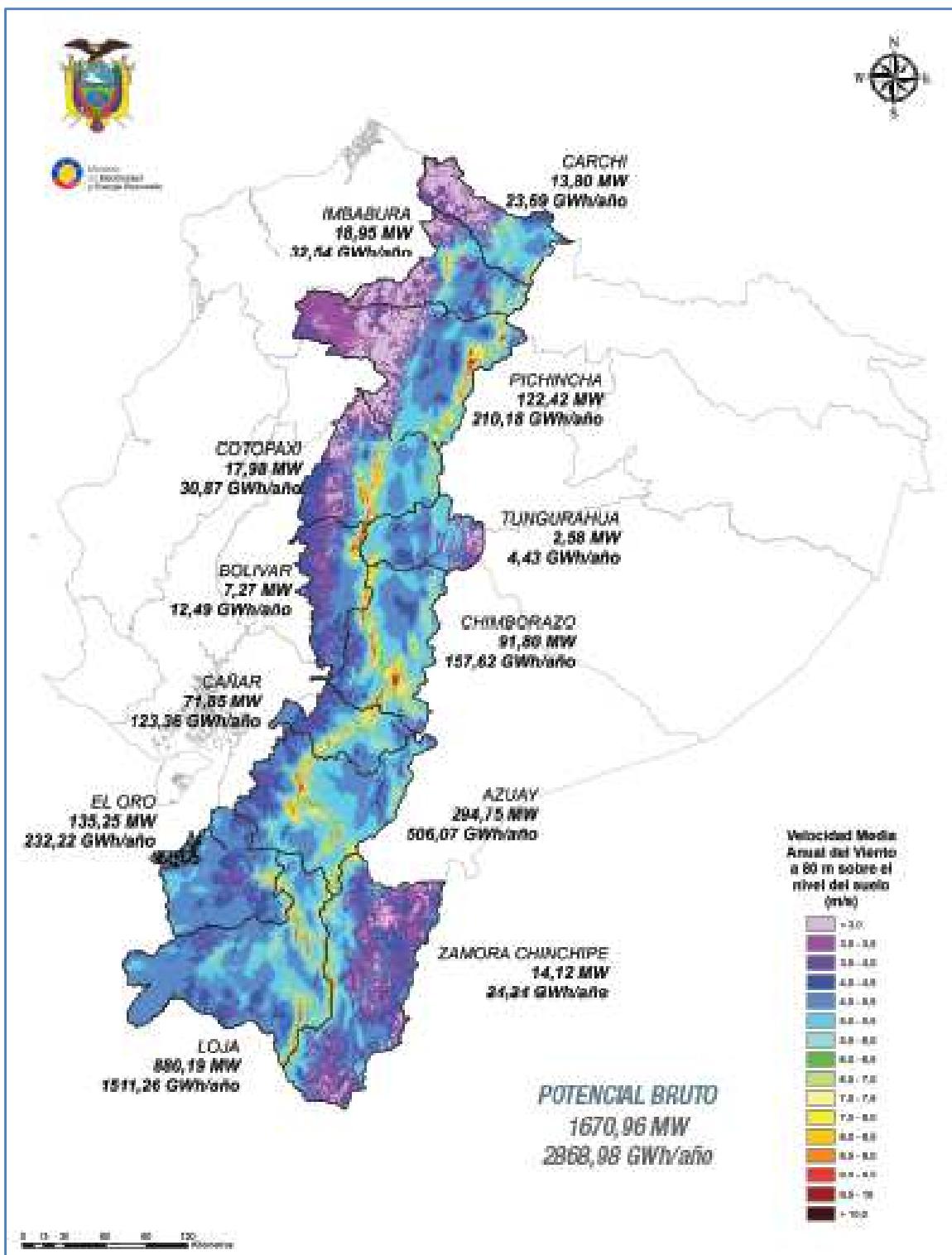
Los principales proyectos eólicos en el Ecuador son:

- Parque Eólico Villonaco ubicado en la ciudad de Loja a 2720 m.s.n.m, al presente es el más grande del país, con 11 aerogeneradores instalados desde el 2013, con una capacidad instalada de 16.5 MW.
- Parque Eólico Baltra ubicado junto al Aeropuerto Seymour en la isla Baltra, permitirá abastecer el 25% de demanda de electricidad de la población de Puerto Ayora, en la isla Santa Cruz. Constará de 3 aerogeneradores de 750 KW en torres sobre 50 m de altura.
- La instalación de otros parques eólicos, están en estudio. Se realizarán en Salinas, entre Carchi e Imbabura (15 MW), Minas de Huascachaca y el hidroeléctrico Mira.

En general los principales cambios en la matriz energética a través de energías renovables se han consolidado en las provincias de Loja, Carchi y Galápagos, con proyectos avanzados en energía, fotovoltaica y biocombustibles.⁷⁵

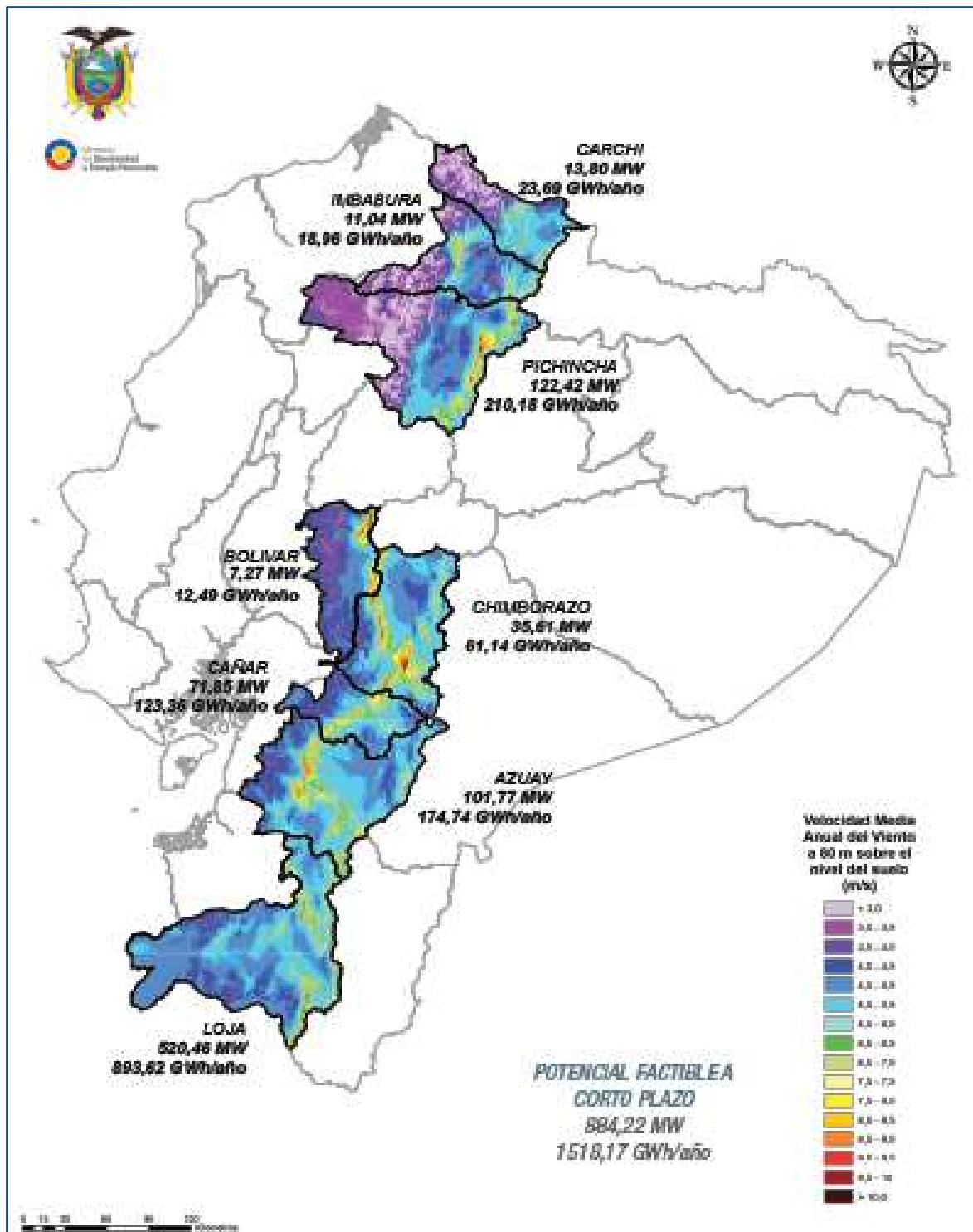
75. Muñoz V.J, 2013, "La matriz energética Ecuatoriana", Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador.

FIGURA N°3. 13. POTENCIAL EÓLICO BRUTO DEL ECUADOR.



FUENTE: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Atlas Eólico del Ecuador Con Fines de Generación Eléctrica.", 2012.

FIGURA N°3. 14. POTENCIAL EÓLICO FACTIBLE A CORTO PLAZO EN EL ECUADOR.

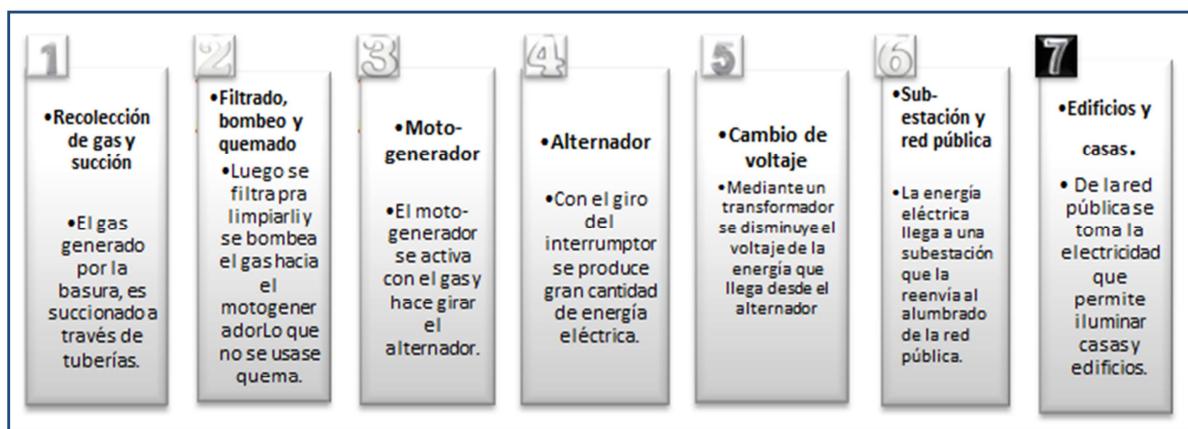


FUENTE: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, "Atlas Eólico del Ecuador Con Fines de Generación Eléctrica.", 2012.

Respecto al biogás, del que se puede generar energía eléctrica, se estima que el tan solo el 15% de los residuos sólidos generados en el Ecuador, se disponen en rellenos sanitarios, sin que esto garantice el manejo integral de los mismos, ya que en el país este aspecto no es una prioridad. El 85% de residuos sólidos restante se arrojan en cuerpos de agua, quebradas, terrenos baldíos y basureros clandestinos, a parte de causar graves problemas ambientales y a la comunidad.

Una de las empresas que realiza un adecuado manejo de los residuos es la Empresa Pública de Aseo de Cuenca – EMAC EP, la cual aprovecha el biogás generado en el relleno sanitario de Pichacay, parroquia Santa Ana, cantón Cuenca incluyendo la producción de energía eléctrica con 2 MW. La disponibilidad estimada será de 864 m³/h de biogás, con una inversión aproximada de USD 2.70 millones. (Vease Figura N° 3.15)

FIGURA N°3. 15. TRANSFORMACIÓN DE BIOGÁS.



Fuente: Empresa Pública Municipal de Aseo (EMAC- EP), “Captación de Biogás”, 2012.

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

El relleno sanitario “Las Iguanas”, ubicado en el kilómetro 14 ½ de la vía Daule, fue creado para solucionar los problemas ambientales de la región y reemplazar el antiguo botadero de San Eduardo. En el 2003 se presentó un proyecto para la creación de una planta de energía eléctrica, usando la basura como combustible con el objetivo de solucionar problemas de contaminación ambiental, aunque según anuncios de periódicos el relleno sanitario no cumple con el proceso de clasificación

de la basura mezclando los desechos sólidos con los hospitalarios en su disposición final sin dar ningun tipo de tratamiento.⁷⁶,⁷⁷

Por otro lado la biomasa como combustible utiliza la energía de las plantas y las convierte de tal manera que se pueda usar como energía eléctrica. Uno de los proyectos emprendidos más importantes es el que se pretende hacer en el cantón Naranjal, provinvia del Guayas, a través del Proyecto Nacional de Agroenergía, sembrando 300 hectáreas de caña de azucar, para producir 800 millones de litros de alcohol (3.27 millones BEP) como biocombustible hasta el 2020.

En el 2010 se introduce al mercado ecuatoriano, la gasolina Ecopáis. Por cada hectárea de caña se da entre 5000 y 6000 litros de etanol anhidrido, que es el líquido de combustión compuesto por un 5% de gasolina Ecopáis.

De igual forma el MEER con apoyo de la Coorporación Técnica del Gobierno Alemán y el Instituto de Cooperación para la Agricultura, hicieron un convenio con 52 organizaciones de la provincia de Manabí, para comprar aceite puro de piñón como combustible natural, para reemplazar el uso de diesel en la generación térmica.⁷⁸

76. El Telégrafo, (2011), [Revisión sanitaria fallida en botadero.](#)

77. El Universo, (2011), [Nueva polémica cabildo-Gobierno por desechos.](#)

78. Muñoz V.J, 2013, “*La matriz energética Ecuatoriana*”, Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD SOCIO-AMBIENTAL DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN EL ECUADOR

4.1. MANEJO ADECUADO DEL USO DE HIDRÓGENO.

Anteriormente se observan las propiedades y características del hidrógeno gaseoso que: es inodoro, no tóxico, no produce productos de combustión peligrosos, no es contaminante, no se auto-inflama a bajas temperaturas, no es radioactivo, no se descompone, es mucho más liviano que el aire y se disipa rápidamente en el mismo. Sin embargo el hidrógeno puede producir asfixia si la concentración de oxígeno en el aire está por debajo de los niveles necesarios para mantener la vida. Por lo tanto se debe considerar que la cantidad de hidrógeno gaseoso para dar lugar a deficiencia de oxígeno en la atmósfera, está dentro del rango de inflamabilidad, por lo que los principales peligros asociados con el hidrógeno y el aire atmosférico son la probabilidad de iniciar fuego y explosión.⁷⁹ Pero, el hidrógeno ha sido utilizado con seguridad en algunas industrias por décadas, y no es más peligroso que los combustibles tradicionales cuando se maneja adecuadamente, aunque algunas de sus propiedades difieran de las de otros combustibles.⁸⁰

Los principales aspectos que se deben considerar para el manejo del hidrógeno son: transporte y almacenamiento, a los que se debe complementar con sistemas de ventilación, equipo electrónico entre otros.

Estos parámetros de manejo serán tomados en cuenta, en cualquier tipo de sistema que maneje o produzca hidrógeno, como los nombrados de los métodos de hidrógeno a partir de energías renovables. En las siguientes tablas N°4.1 a N°4.8 se indican las respectivas medidas de manejo ambiental, que se deben incluir en los sistemas.

79. United Kingdom Hydrogen Association (UKHA), "Hydrogen Safety UKHA Fact Sheet Number 2", GIBC, Mulgrave Terrace, Gateshead, Tyne & Wear, NE8 1AN.

80. U.S Department of Energy Hydrogen Program, Increase your H2IQ, "Hydrogen Safety Tips for First Responders".

En la Tabla N°4.1 se puede observar la importancia de los dispositivos de descompresión, donde cada sistema debe resistir una presión igual o superior a la presión máxima de servicio autorizada (PSMA), siendo la presión máxima a la que el sistema es seguro operar. En este caso, los cilindros de hidrógeno deben estar equipados con dispositivos de alivio de presión para liberar el gas en o por debajo del PSMA. El dispositivo de alivio de presión se compone de un disco partible junto con un soporte de metal fusible de bajo punto de fusión, diseñado para romperse debajo de una combinación de alta temperatura y una presión excesiva.

TABLA N°4. 1. MANEJO DE FUGAS POR DISPOSITIVOS DE DESCOMPRESIÓN.

Buenas Prácticas	Descripción de la medida	Medio de verificación
Manejo de Fugas (dispositivos de descompresión)	Uso de dispositivos de descompresión de acuerdo a la PSMA	Sensores de presión, que evite que la presión del sistema llegue al 10% por encima del PSMA
	Cilindros con dispositivos de alivio de presión	
	Dispositivos con adecuada ventilación al aire libre, para evitar el choque del gas H ₂ con el resto del equipo, estructuras o el personal	Ventiladores o respiradores
Nota: El sistema debe resistir una presión igual o superior a la presión máxima de servicio autorizada (PSMA)		

FUENTE: Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study"

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Respecto al mantenimiento y medidas emergentes, se presenta en la tabla N°4.2, respecto a las válvulas de aislamiento un tipo especial son las de emergencia (EIV), que proporcionan un medio automático o manual para detener el flujo de hidrógeno en caso de emergencia.

Las válvulas de cierre que vienen con cilindros de gas no se pueden utilizar para controlar la velocidad de descarga del gas en uso. Es necesario equipo adicional que se requiere para los sistemas de suministro de gas de hidrógeno, como los reguladores con manómetros. Al igual que las válvulas y materiales de tuberías,

estos instrumentos deben estar diseñados para uso con gas hidrógeno. Por lo tanto se debe tomar las siguientes precauciones (Ver Tabla N°4.3).

TABLA N°4. 2. MANTENIMIENTO Y MEDIDAS EMERGENTES.

Buenas Prácticas	Descripción de la medida	Medio de verificación
Mantenimiento y medidas emergentes	Válvulas de aislamiento, para poder apagar el flujo de hidrógeno cuando sea necesario	Manipulación por personal técnico capacitado
	Válvulas de exceso de flujo, para asegurar que la velocidad de flujo del gas hidrógeno no exceda las especificaciones.	
	Válvulas de retención, impiden el flujo inverso. Lo que podría dar lugar a la contaminación del sistema de gas hidrógeno.	
Nota: Las válvulas deben ser herméticas al gas y estar hechas de materiales adecuados para uso con hidrógeno.		

FUENTE: Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study"

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

TABLA N°4. 3. REGULADORES CON MANÓMETROS.

Buenas Prácticas	Descripción de la medida	Medio de verificación
Reguladores con manómetros	Proporcionar protección mecánica de los reguladores para proteger de daños mecánicos	Todos los volúmenes de los componentes que contienen hidrógeno, incluyendo las líneas de transferencia, deben ser evacuados o limpiados con nitrógeno o con un gas inerte antes y después de su uso. La eficiencia de evacuación debe ser verificada
	Regulador especial para ser utilizado con gas hidrógeno.	
	No intentar reparar un regulador, ya que el contiene dispositivos de seguridad internos para proteger los medidores de entrega.	
	No utilizar un adaptador	

FUENTE: Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study"

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Debido a que la energía necesaria para encender mezclas inflamables de gas hidrógenos con extremadamente bajas, se debe tener cuidado al usar hidrógeno alrededor del equipo eléctrico. La Asociación Nacional de Protección contra Incendios de EE.UU ha establecido normas para las especificaciones de equipos eléctricos destinados a ser utilizados en presencia de gas hidrógeno. Al igual que la Administración de Seguridad y Salud también ha establecido normas respecto a sistemas en interiores con capacidad de volumen de gas superior a 400 m³.

TABLA N°4. 4. CONEXIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS A TIERRA.

Buenas Prácticas	Descripción de la medida	Medio de verificación
Conexión de equipos eléctricos a tierra.	Todas las mangueras flexibles y sistemas de tuberías deben estar conectados a tierra.	Personal técnico capacitado

FUENTE: Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study"

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Las medidas de manejo adecuado de los cilindros de gas hidrógeno y de movimiento se presentan en la Tabla N° 4.5 y en la Tabla N°4.6. Evitando posibilidades de auto-ignición. En todos los casos evitar las llamas, no producir chispas y no fumar. Disponer de un extintor.^{81 82},

TABLA N°4. 5. MANEJO ADECUADO DE LOS CIINDROS DE GAS HIDRÓGENO

Buenas Prácticas	Descripción de la medida	Medio de verificación
Manejo adecuado de los cilindros de gas hidrógeno	Asegurar los cilindros de gas comprimido en una posición vertical para que no puedan caerse. Nunca deben ser usados los cilindros si la presión no se ha reducido por un regulador adecuado en el cilindro	Manipulación general por personal capacitado, conjunta con la instalación del regulador. Añadir un manual con las respectivas indicaciones

81. Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study", Los Alamos. National Laboratory, Vol. ESH13-401-sb-8/00

82. United Kingdom Hydrogen Association (UKHA), "Hydrogen Safety UKHA Fact Sheet Number 2", GIBC, Mulgrave Terrace, Gateshead, Tyne & Wear, NE8 1AN.

CONTINUACIÓN TABLA N°4.5

	Utilice solo los reguladores destinados a ser utilizados con hidrógeno y nunca forcé las conexiones que no encajan fácilmente juntos	
--	--	--

FUENTE: Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study. (UKHA), "Hydrogen Safety UKHA Fact Sheer Number 2"

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

TABLA N°4. 6. MANEJO ADECUADO AL MOVER LOS CILINDROS DE GAS HIDRÓGENO.

Buenas Prácticas	Descripción de la medida	Medio de verificación
Manejo adecuado al mover los cilindros de gas hidrógeno	Reemplazar la tapa de la válvula del cilindro de la posición de uso segura.	
	Mover los cilindros en carros cilíndricos o con otros dispositivos de transporte aprobados para cilindros.	
	Nunca tirar o dejar caer los cilindros. Podrían resultar graves lesiones en el pie o daños en el cilindro.	Manipulación de personal técnico capacitado. Añadir un manual con las respectivas indicaciones
	Antes de mover los cilindros, remover el regulador y la tapa protectora de la válvula de seguridad. Si es un sistema móvil, cierra las válvulas del cilindro y elimine la presión de los reguladores y mangueras.	
	Nunca levantar los cilindros por sus tapas de protección.	
	Use zapatos de seguridad o protección de pies.	

FUENTE: Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study. (UKHA), "Hydrogen Safety UKHA Fact

Sheer Number 2"

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

En la Tabla N°4.7 se presentan puntos que son importantes a considerar para el almacenamiento de los cilindros de gas de hidrógeno que están en espera de ser removidos o se anticipa su uso.

TABLA N°4. 7. MEDIDAS DE ALMACENAMIENTO ESPECIAL

Buenas Prácticas	Descripción de la medida	Medio de verificación
Medida de almacenamiento especial.	Los cilindros deben almacenarse fuera y lejos de puertas, ventanas y construcciones de toma de aire.	Verificación con el Consulado de Higiene Industrial, y el Grupo de Seguridad y Grupo de Gestión de Riesgo.
	Almacenamiento en instalaciones especialmente diseñadas	
	Los cilindros deben estar protegidos contra el calor, atmósfera corrosiva, la lluvia, la acumulación de luz solar directa.	
	El área de almacenamiento debe de ser de fácil acceso.	
	Evitar que los cilindros se puedan caer, asegurándolos con dispositivos aprobados por las normas de seguridad.	
	El hidrógeno debe estar separado de gases oxidantes al menos a 6m y con una barrera de fuego de 1,5 m de altura.	

FUENTE: Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study. (UKHA), "Hydrogen Safety UKHA Fact Sheer Number 2"

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Debido al pequeño tamaño molecular, el hidrógeno puede filtrarse a través de las aberturas que otros gases no pueden pasar. Por lo tanto es necesario tomar medidas de ventilación y alarmas en caso de fugas.

TABLA N°4. 8. VENTILACIÓN Y ALARMAS.

Buenas Prácticas	Descripción de la medida	Medio de verificación
Medidas de manejo de ventilación y alarmas.	Ventilación con grandes cantidades de aire es vital para diluir pequeñas fugas de hidrógeno por debajo del límite inferior de inflamabilidad de 4% en el aire.	Verificación del personal técnico calificado, al momento de instalar el sistema.
	Siempre que sea posible, el hidrógeno debe ser almacenado y utilizado fuera, con ventilación natural o debajo de un cobertizo con techo, sin paredes.	
	Localizaciones de interior deben tener una ventilación adecuada para manejar la mayor fuga de hidrógeno anticipada o derrame.	
	Los ventiladores de escape deben ser a prueba de explosión	
	Los sistemas de detección de gases inflamables deben programarse para que suene cuando la concentración de hidrógeno alcanza el 30% del límite inferior de inflamabilidad.	
	Los sensores deben colocarse por encima del punto de fuga prevista.	
	La alarma debe ser calibrada anualmente, o dependiendo del riesgo.	

FUENTE: Robbins S. y Glass G., 2000, "Hydrogen Gas Safety. Self-Study."

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

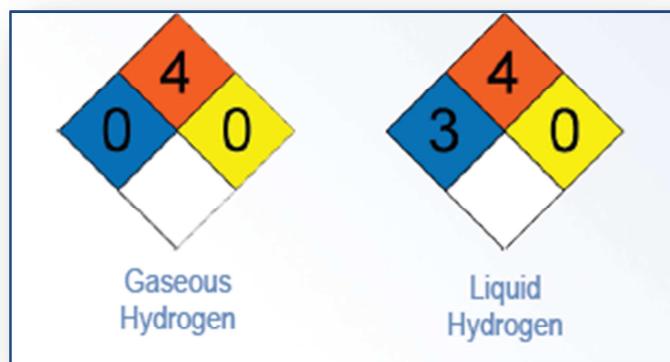
Por otro lado los sistemas que utilicen hidrógeno, deberán estar debidamente señalizados y venir con las respectivas indicaciones al público en general como son:

- Mantener lejos del personal no autorizado.
- No tocar ni caminar a través del producto.
- Mantenerse en dirección contraria a la del viento.
- No rociar agua en el dispositivo de alivio de presión.

- Eliminar las fuentes de ignición (eléctrica, mecánica o térmica).

Por último colocar la señalización adecuada de grado de peligrosidad, en este caso para instalaciones estacionarias de hidrógeno como se presenta en la figura N° 4.1, donde se utilizan pilas de combustibles estacionarias y estaciones de abastecimiento de combustible en un futuro.⁸³

FIGURA N°4. 1. SEÑALIZACIÓN DE MATERIALES PELIGROSO PARA FACILIDADES ESTACIONARIAS.



FUENTE: U.S Department of Energy Hydrogen Program, Increase your H2IQ, "Hydrogen Safety Tips for First Responders".

4.2. EL HIDRÓGENO SUS IMPACTOS, SOSTENIBLE Y VIABLE.

En la Tabla N°4.9 se presenta los posibles impactos ambientales que se pueden generar al implementar sistemas que generen electricidad a partir de hidrógeno como vector energético en el Ecuador mediante fuentes renovables.

83. U.S Department of Energy Hydrogen Program, Increase your H2IQ, "Hydrogen Safety Tips for First Responders".

TABLA N°4. 9.IMPACTO AMBIENTAL DEL USO DE HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO A PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES.

Factor Ambiental	Impacto Ambiental				
	Signo	Intensidad	Extensión	Recuperación	Observación
Atmósfera	+	Alta	Puntual	NA	Contribución a la disminución de gases efecto invernadero.
Agua	+	Baja	Puntual	NA	Disminución lluvia ácida
Suelo	+	Baja	Puntual	NA	Disminución de contaminantes químicos en el suelo
Componente Biótico	+	Baja	Puntual	NA	Reducción de la toxicidad y contaminantes en los ecosistemas
Ruido		NA	NA	NA	NA
Componente Socio-Económico	+	Alta	Parcial	Mitigable	Inicialmente demanda de inversión inicial fuerte, que se puede amortiguar a largo plazo, con mantenimiento a bajo costo.
Infraestructura y Estética	-	Baja	Puntual	Reversible	En caso de que la instalación se realice localmente, sería en los techos de las edificaciones, generando un impacto visual y espacial para las personas que demanden de este espacio.
Salud y Seguridad	-	Baja	Puntual	Mitigables	El hidrógeno gaseoso es inflamable, pero tomando las medidas necesarias no existe riesgo de explosión

Signo (+: impacto positivo, -: impacto negativo). Intensidad: alta, media, baja. Extensión: puntual, parcial, medio, crítico. Recuperación: irrecuperable, reversible, mitigables, recuperables.

NA: No aplica.

ELABORACIÓN: Tatiana Litardo

Por otro lado el hidrógeno como tal es sostenible y viable como vector energético considerando aspectos económicos, ambientales y sociales, para la transición a una estrategia energética sostenible, deberá presentar algunas características o principios que se deberán aplicar en un futuro, como se detalla a continuación:^{84, 85}

- Jerarquizar los centros de producción de hidrógeno, almacenamiento y distribución sostenibles, dependiendo de las fuentes de energía renovables locales para su transformación según se requiera.

84. Andrews J. y Shabani B., 2012, "Re-envisioning the role of hydrogen in a sustainable energy economy", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37.

85. Winter C.J, 2009, "Hydrogen energy – Abundant, efficient, clean: A debate over the energy- system- of-change", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 34.

- Considerar métodos adecuados para la producción de hidrógeno a partir de biomasa de varias clases (incluyendo celulosa y fuentes de algas), así como el agua, los desechos antropogénicos, sulfuros de hidrógeno e hidrocarburos fósiles, todos de acuerdo al lugar en que abunden estos recursos, volviéndolos sistemas más factibles de implementar.
- Los sistemas anteriormente propuestos deberán ser en lo posible: factibles, baratos, limpios, seguros, decentralizados, y que sean transparentes para el público.
- El uso complementario de la producción de hidrógeno con la red actual de electricidad, para reducir al mínimo la extensión de nuevas redes de distribución de tuberías de hidrógeno.
- Para cumplir en su mayor parte con el ambiente, la producción de hidrógeno puede realizarse con una gama de fuentes de energía renovable y materias primas, sin depender de la energía nuclear (por el alto costo económico cuando se considera los costos completos del ciclo del sistema y de seguros, los obstáculos políticos y largos plazos de entrega a la operación, la falta de un método seguro de almacenamiento y eliminación de desechos radioactivos de alto nivel, los graves riesgos de la liberación de las radiaciones nocivas de reactores nucleares en funcionamiento, particularmente en el caso de desastres naturales y más emisiones de carbono de la energía nuclear en comparación con otras energías) o la captura y almacenamiento de carbono a pesar del uso continuo de gas natural y el carbón, considerando la aplicación de medidas de eficiencia energética hasta el límite económico en todos los sectores de la economía.
- La magnitud de capacidad de almacenamiento de hidrógeno necesario para proporcionar el nivel requerido de seguridad de suministro en las redes eléctricas nacionales de diversas estructuras, y con diferentes niveles y tipos de entrada de energía renovable variable y distribuido, junto con el uso de otros tipos de almacenamiento de energía a corta duración

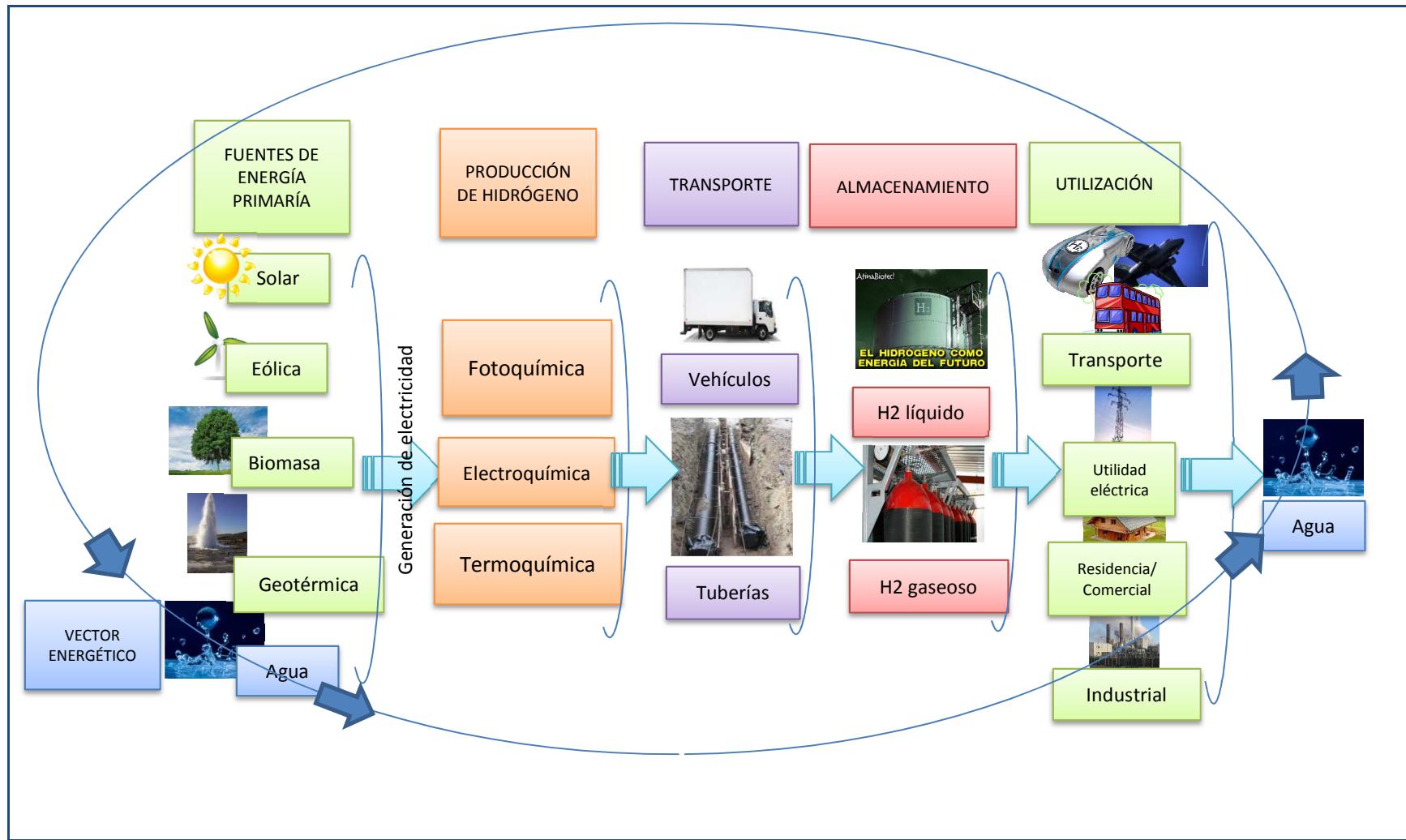
(supercondensadores y baterías), para garantizar la seguridad energética nacional.

- Los métodos más apropiados para el almacenamiento de hidrógeno en grandes cantidades ubicados en los centros de distribución regional o local, debe realizarse a alta presión (350 a 700 bar), en metal o hidrocarburos químicos, o en materiales a base de carbono, aunque sería preferible desde el punto de vista de disponibilidad de material (y por tanto el precio) hacerlo con este último.
- Aplicación de electrólisis a gran escala de vapor de agua a alta temperatura.
- Desarrollo de electrólisis combinada con energía solar y eólica, desarrollando a la par con las tecnologías de hidrógeno.

La figura N°4.2 presenta un esquema, que puede ser implantado a corto plazo en nuestro país.

Como se aprecia en el esquema, la producción de hidrógeno como vector energético es posible. Como se estableció en el anterior capítulo la combinación de los recursos renovables junto con los métodos de producción de hidrógeno, puede generar electricidad de manera amigable con el ambiente. Es válido resaltar que si el método de producción de hidrógeno se da por electrólisis del agua, el resultado será el mismo, vapor de agua sin otro tipo de emisiones contaminantes. De la misma forma hay que considerar el mejoramiento de políticas en todos los aspectos (social, económico y ambiental), que apoyen a la generación de energía limpia, tomando en cuenta todos los aspectos de salud y seguridad, para el beneficio de la sociedad.

FIGURA N°4. 2. ESQUEMA DE LA PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO, A PARTIR DE ENERGÍAS RENOVABLES.



ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

Este esquema, revolucionaría la forma actual de producir energía mediante combustibles tradicionales contaminantes y no sostenibles, cambiando la matriz energética por una tecnología más limpia, amigable con el ambiente y la sociedad, a la vez lograr que la producción de energía sea sostenible, consiguiendo garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable, certificando un “Buen vivir” para las siguientes generaciones. (Ver figura N°4.3)

FIGURA N°4. 3. ESQUEMA DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES, PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE.



FUENTE: Suárez A., “Asignatura Estatal: “Educación Ambiental para la Sustentabilidad en Tabasco”,2012.

4.2.1. FODA

Analizando los puntos más importantes para la implementación de sistemas energéticos que usen como combustible hidrógeno, se presenta algunas Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas (FODA), para una aplicación nacional y global.⁸⁶

86. Momirlan M. y T.N. Veziroglu., 2004, “The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a cleaner planet”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 30 (2005) 795-802.

FORTALEZAS:

- La producción de hidrógeno a partir de fuentes de energía renovable es una fuente de energía prácticamente inagotable, ambientalmente benigno que podría satisfacer la mayor parte de nuestras necesidades energéticas futuras.
- El hidrógeno es mas versátil y tiene más usos que la electricidad, incluyendo el suministro de energías para empresas, fabricas, centrales eléctricas, casas, vehículos y aviones.
- La producción de hidrógeno ayuda a reducir la dependencia del petróleo, aportando al cambio de la matriz energética.
- La realidad de una eventual transición desde el petróleo hasta el hidrógeno se hace más evidente, si se tiene una visión atómica de la historia de la energía. Considerando que desde el siglo XIX, el mundo se ha ido desplazando lentamente de una forma de energía a otra.
- El hidrógeno unido en agua y formas orgánicas representa más del 70% de la superficie de la tierra.
- Una vez que se extrae, el hidrógeno es un gas incoloro, inodoro, insípido, no presenta toxicidad, además de ser altamente inflamable y reactivo, es el elemento de menor masa atómica y es más liviano que el aire; presenta un bajo calor de vaporización y posee la más grande energía de combustión por unidad de masa (poder calórico), lo que lo convierte en materia prima (vector energético) de utilidad, o de entrada a una variedad de actividades industriales y un combustible potencialmente suficiente para energizar prácticamente todos los aspectos de la sociedad, desde casas a las compañías eléctricas, empresas e industrias.
- El hidrógeno es visto como una solución permanente al agotamiento de los combustibles convencionales y los problemas ambientales globales, ya que su combustión no produce CO₂, CO, SO₂, COV o material particulado.
- El desarrollo de esta tecnología, podrá suplir energía en momentos de mayor demanda, disminuyendo así el consumo de energía eléctrica proporcionada por la red o cuando el suministro eléctrico decaiga.

- Apoyo del Gobierno Nacional, con las políticas actuales referentes al manejo y gestión integral de la biodiversidad y los recursos naturales.
- La ubicación del Ecuador favorece al aprovechamiento de la energía solar, puesto que el valor medio de radiación anual es de los más altos del mundo, igualmente se esta incursionando en nuestro país, en otras fuentes de energía renovable como la eólica, que combinadas a la producción de hidrógeno, son completamente sostenibles.
- El uso de una variedad de materias primas para producir hidrógeno, mejoran la flexibilidad, seguridad y autosuficiencia locales del sistema.
- La energía del hidrógeno se puede almacenar de forma permanente, por lo que su almacenamiento jugaría un papel semejante al de los combustibles fósiles de hoy, con una diferencia fundamental, que este puede reponerse regularmente con más hidrógeno producido mediante el ingreso de energía renovable, mientras que los combustibles fósiles una vez explotadas sus fuentes son irreversiblemente agotadas.

OPORTUNIDADES:

- Llevar a cabo investigaciones en tecnologías avanzadas para producir, almacenar y utilizar el hidrógeno en forma segura a partir de recursos renovables.
- Desarrollar en la industria tecnologías para producir, almacenar, transportar y utilizar el hidrógeno en cantidades lo suficientemente grandes, y con un coste lo suficientemente baratas para competir con las fuentes tradicionales de energía como el carbón, petróleo y gas natural.
- Explorar el uso de recursos renovables como la solar, la eólica, la biomasa y los organismos biológicos para producir hidrógeno económicamente.
- El hidrógeno podría ayudar a reducir la contaminación mediante el empleo de pilas de combustible, en los vehículos, ya que son tres veces más eficientes que un motor a gasolina y al a vez más económico a largo plazo.

- En un futuro se podría dar solución a problemas de demanda energética, obteniendo sistemas seguros y a precios accesibles, basta mencionar el ejemplo de los aviones que utilizan un combustible sumamente inflamable y en la actualidad son el medio de transporte más seguro; o, el caso de los teléfonos celulares, que inicialmente tenían precios inalcanzables y en la actualidad pueden ser adquiridos a costo accesible para la mayoría de la sociedad.
- El hidrógeno es un combustible revolucionario, ya que transformará las relaciones sociales y económicas en todo el mundo, también supone una esperanza en la conquista de una economía energética sostenida.
- El hidrógeno como combustible puede reemplazar las baterías con pilas de combustible, en equipos electrónicos portátiles, como cámaras de televisión, laptops, celulares, en vehículos de transporte en la tierra, en el mar, en el aire y en el espacio. Ya que se tomando en cuenta las emisiones de dióxido de carbono por el sector del transporte, se podrían reducir los contaminantes locales del aire hasta en un 80 % para el año 2100.⁸⁷
- Contribuir con la sociedad, mediante la generación de empleo, capacitando en la producción, generación, transporte, distribución del hidrógeno, garantizando sistemas seguros.

DEBILIDADES:

- El hidrógeno es actualmente más caro que las fuentes de energía tradicionales.
- La eficiencia de producción (la cantidad de energía o materia utilizada para producir hidrógeno) debe mejorar así como el desarrollo de infraestructura para transportar y distribuir hidrógeno de manera eficiente.
- El hidrógeno está en todas partes, pero es difícil de encontrar en la Tierra como un elemento separado, lo que obliga a realizar métodos de obtención

87. Andrews J. y Shabani B., 2012, “Re-envisioning the role of hydrogen in a sustainable energy economy”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 1184-1203.

principalmente a través de el agua, la combinación de carbono en plantas, animales, y otras formas de vida.

- En el transporte y distribución de energía eléctrica se producen pérdidas considerables, que pueden ser evitadas si se dispone de generación local, es decir a una distancia muy corta de donde será utilizada, por lo que el esquema propuesto debe aplicarse localmente, lo más cercano al lugar de demanda, asegurando el acceso universal a la red eléctrica a las poblaciones más apartadas.
- En algunos casos se necesitarán estaciones o dispensadores de hidrógeno para los usuarios móviles y fijos.
- La escasez de proyectos ejecutados, el bajo desarrollo tecnológico que ha creado dependencia tecnológica internacional y una inversión inicial alta.
- El cambio coordinado hacia el hidrógeno como vector energético, probablemente supondrá una transición de varias décadas y mayores costos en el corto plazo, pero es técnicamente factible.

AMENAZAS:

- Que no exista el apoyo de instituciones públicas y/o privadas, necesario para que pueda desarrollarse este tipo de tecnología.
- Los mayores obstáculos para la conversión del 100% de la energía, en el Ecuador o en cualquier lugar del mundo son principalmente sociales y políticos, no tecnológicos o incluso económicos.

Por otro lado, y no menos importante en el aspecto ético, se puede hacer una pequeña reflexión sobre las decisiones políticas importantes que se deben tomar pero que muchas veces son impuestas, siendo de interés común de los individuos, que mayormente son perjudicadas por las organizaciones de élite a las que les conviene continuar indefinidamente con los combustibles de hidrocarburos claramente por beneficios económicos, ignorando la amplia gama de alternativas, conocidas y desconocidas, aprovechándose de la ignorancia de la cultura popular en su mayoría.

4.3. INTRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN EL ECUADOR

A continuación se presenta la relación esperada entre el crecimiento demográfico, la energía que se necesitaría para el 2050 y en qué cantidad se debería producir hidrógeno como vector energético en el Ecuador, hasta la misma fecha para alcanzar un mínimo de producción del 30% del total de energía generada.

La tabla N°4.10 presenta, la población futura y la energía requerida por el país hasta el año 2050, sobre la base de una proyección geométrica de la población (Ec. 10).

$$Pf = Po * (1 + t)^n \quad (10)$$

Donde:

- Pf: Población/Energía final.
- Po: Población/Energía inicial.
- 1: Constante.
- t: Tasa de crecimiento.
- n: número de años transcurridos.

Los datos de población están de acuerdo a la proyección que realiza el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) 2012⁸⁸, de acuerdo a estos datos se realizó el cálculo de la tasa de crecimiento demográfico utilizando la ec. (10), tomando como datos, la población inicial ($Po = 15'500.000$ millones de habitantes) en el 2012, población final ($Pf = 23'377.412$ millones de habitantes) para el 2050, donde la diferencia de años es 38, resultando una tasa igual a 1.087%, explicando así porque la curva de población muestra un crecimiento exponencial, que a largo tiempo tiende a decrecer a partir del año 2060 como se especifica en el Atlas Nacional del Ecuador 2013, en su publicación Geográfica Humana: Población⁸⁹.

88. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) 2012.

89. Instituto Geográfico Militar (IGM) (2013).

TABLA N°4. 10. DATOS GENERALES DE CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO, ENERGÍA NECESARIA HASTA EL 2050 Y LA INTRODUCCIÓN DE LA ENERGÍA DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN EL ECUADOR.

AÑO	HABITANTES	ENERGÍA ELÉCTRICA NECESARIA (GWh)	INTRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO (GWh)
2012	15500000		
2013	15661285	20634	0
2014	15838884	21637	0
2015	16011094	24572	13
2016	16185177	29313	16
2017	16361153	35570	21
2018	16539042	36981	28
2019	16718865	38534	36
2020	17500000	40009	47
2021	17084397	41339	61
2022	17270150	42701	79
2025	18693140	54416	174
2030	19800000	81508	648
2035	20858149	122088	2405
2040	21800000	182872	8929
2045	22648875	273919	33151
2050	23377412	410296	123089

El cálculo de la tasa de la población sera:

$$P_f = P_0(1 + t)^n \quad (11)$$

$$t = \left(\frac{P_f}{P_0}\right)^{1/n} - 1 \quad (12)$$

$$t = \left(\frac{23.377412}{1.500.000}\right)^{1/(2050-2012)} - 1 \quad (13)$$

$$t = 1.087 \% \quad (14)$$

Mientras tanto los datos de energía van de acuerdo al estudio realizado por el Estado Ecuatoriano através del Concejo Nacional de Electricidad (CONELEC), mediante el

Plan Maestro de Electrificación 2013-2022.⁹⁰ De la misma forma para el cálculo de la tasa energética se utilizó la ec. (10), considerando los siguientes valores: demanda energética inicial ($E_0 = 20634$ Gwh) en el 2013, demanda energética₂₀₂₂ ($E_{2022} = 42701$ Gwh), con 9 años de diferencia, resultando una tasa igual a 8.42 % para posteriormente hacer la proyección hasta el año 2050, obteniendo $E_f = 410.296$ Gwh, como se presenta a continuación:

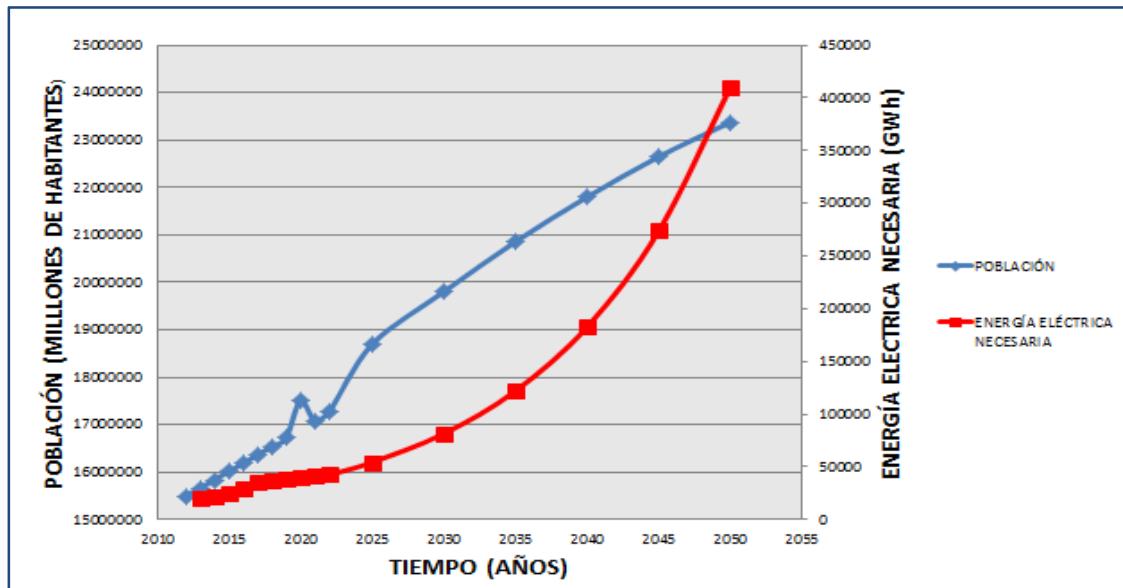
$$E_f = E_{2022}(1 + t)^n \quad (15)$$

$$E_f = 42701 \text{ Gwh} (1 + 0.08416)^{(2050-2022)} \quad (16)$$

$$E_f = 410.296 \text{ Gwh} \quad (17)$$

En la figura N°4.4 se observa la relación que tiene el crecimiento de la población con la energía que se necesitaría producir hasta el 2050, teniendo en cuenta que la población crece a una tasa de 1.087% y la tasa energética es de 8.42%.

FIGURA N°4. 4.CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO VS ENERGÍA NECESARIA HASTA EL 2050.

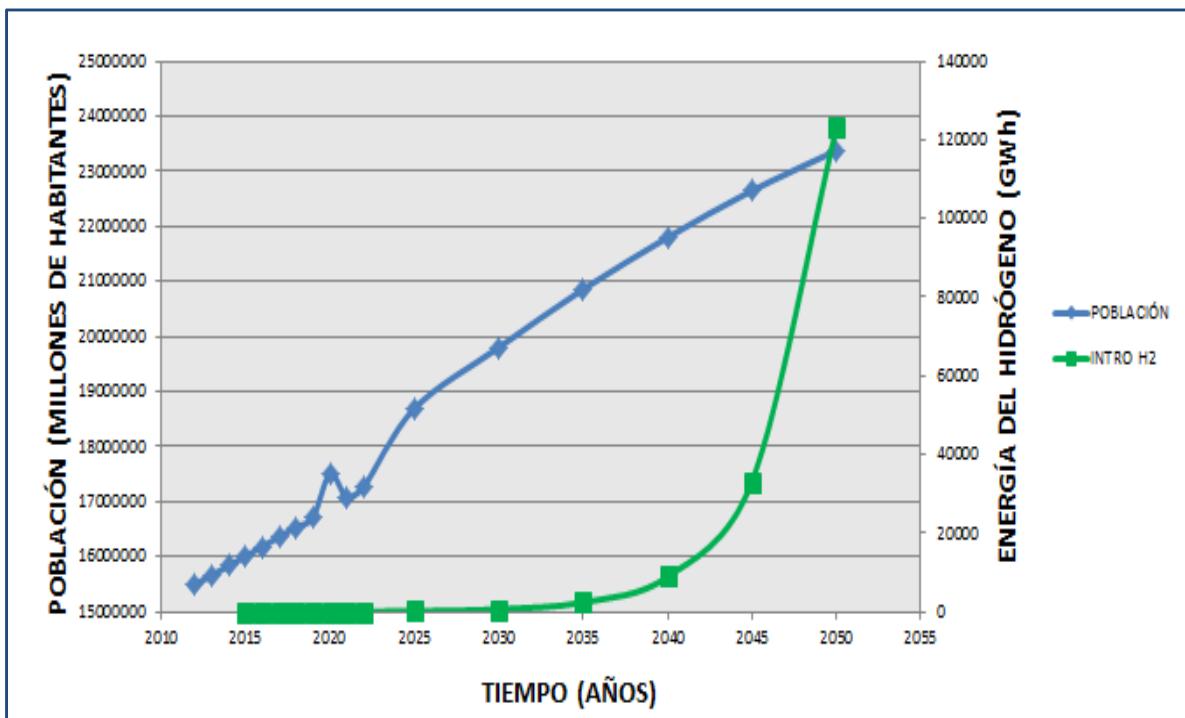


ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

90. CONELEC, (2013), Plan Maestro de Electrificación 2013-2022- Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano, Quito

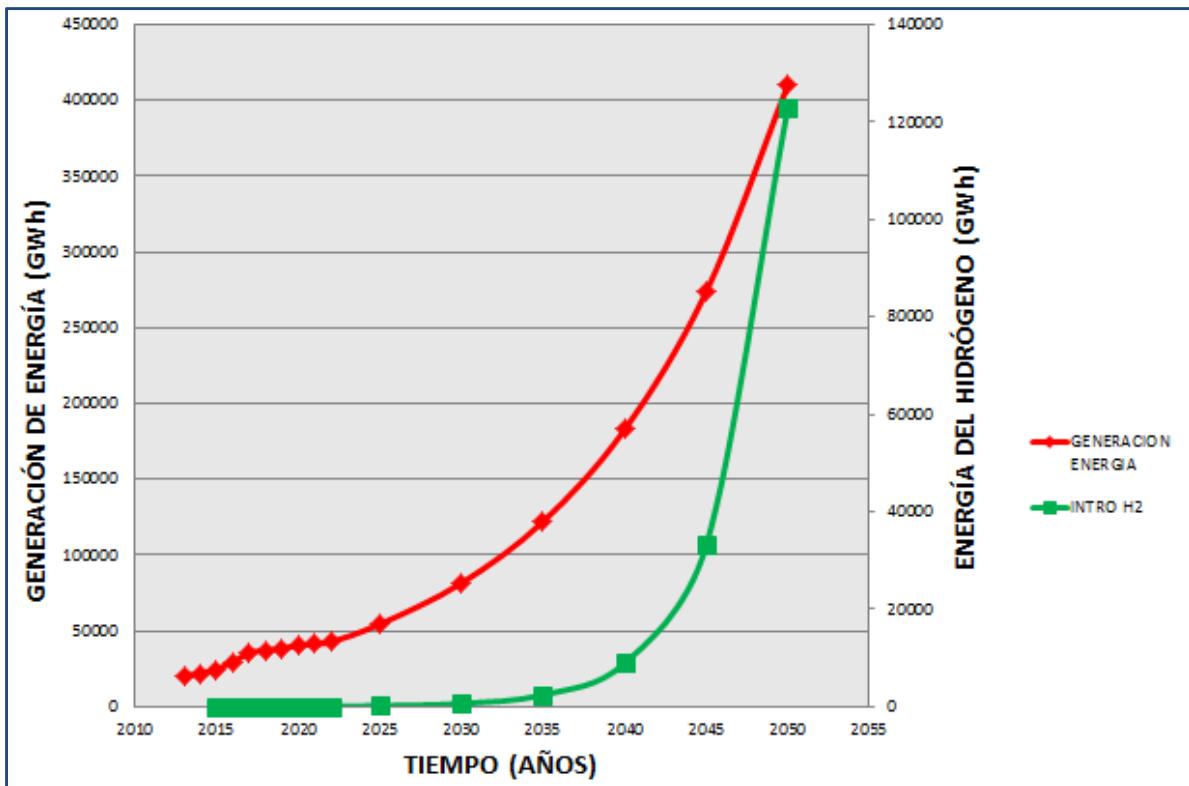
Relacionando estas dos variables (crecimiento poblacional y energía eléctrica necesaria) con la introducción del hidrógeno como vector energético se presenta a continuación en las Fig N° 4.5 y Fig N° 4.6, como se puede observar en la primera figura el crecimiento de la población es exponencial con tendencia a estabilizarse a través del tiempo debido a que las mujeres tendrán menos hijos de acuerdo a la tasa de crecimiento demográfico, mientras que en relación a la introducción del hidrógeno como vector energético en el Ecuador será un aporte al total de energía generada por otras fuentes, lo que se puede observar con más claridad en el segundo gráfico, donde la energía necesaria para el 2050, tendría un aporte de energía generada por hidrógeno a través de fuentes renovables en un 30% del total de energía necesaria.

FIGURA N°4. 5. CRECIMIENTO POBLACIONAL VS INS introducción DE HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN EL ECUADOR.



ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

FIGURA N°4. 6. ENERGÍA ELÉCTRICA NECESARIA VS INTRODUCCIÓN DEL HIDRÓGENO COMO VECTOR ENERGÉTICO EN EL ECUADOR.



ELABORACIÓN: Tatiana Litardo.

CÁPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se realizó el diagnóstico global y nacional del sistema energético, en el que se puede decir que en los últimos 30 años, aumentó el consumo de combustibles fósiles, a pesar del esfuerzo de los gobiernos por reducir la dependencia de los mismos, donde el abastecimiento de fuentes energéticas renovables es escasamente del 13.1% a nivel mundial de energía, pronosticando un desarrollo en la energía fotovoltaica 80 veces mayor a la actual para el 2050 y la eólica podría alcanzar una producción 3 veces mayor a la actual para el 2020. En el caso ecuatoriano, no es diferente ya que en los últimos 40 años la explotación petrolera en la Amazonía, mantiene más alta dependencia de los hidrocarburos, donde la oferta energética estuvo dominada con un 76.7%, siendo la mayor parte de generación de energía eléctrica es proveniente de la producción hidráulica con un 62.4% y geotérmica con 35.6%.
- La implementación de sistemas de generación de hidrógeno a partir de energías renovables, son totalmente viables. En el aspecto social, se contribuye a concientizar sobre el uso de energía limpia, además de contribuir a la generación de empleo en caso de implementación. En el ámbito ambiental, también es viable, ya que no produce gases efecto invernadero y por lo tanto no afecta a los factores ambientales (atmósfera, agua, suelo, componente biótico). En el aspecto económico es viable ya que el alto costo inicial de la mayoría de sistemas, puede amortiguarse a largo plazo, con mantenimiento a bajo costo. Por tanto el hidrógeno es una solución permanente al agotamiento de los combustibles convencionales y a los problemas ambientales globales.
- Las propiedades del hidrógeno lo convierten en un vector energético con variedad de utilidades, como combustible potencialmente suficiente para

energizar todos los aspectos de la sociedad, desde casas a las compañías eléctricas, empresas e industrias.

- Existen alrededor de 90 métodos para producir hidrógeno, siendo parte de estos métodos inviables, para el desarrollo sustentable, sin embargo todos los métodos basados en energía renovable y que se realicen de acuerdo a la localidad, aprovechando las fuentes y recursos renovables del sector, como la energía solar, eólica, geotérmica, hidráulica, biomasa o desechos antropogénicos, a nivel nacional y mundial.
- A nivel mundial se han desarrollado tecnologías que permiten producir hidrógeno, las que son generadas por carbón, petróleo o biomasa producen CO₂, lo que conduce al calentamiento global, para evitar estas emisiones se tiene la alternativa de realizar la captura y secuestro de carbono para uso continuo de gas natural y el carbón, otra forma de generar hidrógeno más limpia es mediante la separación de agua, en donde se produce hidrógeno y oxígeno.
- Los sistemas de generación de hidrógeno no son más ni menos peligroso, que los que se usan para generar gasolina, u otro derivado de petróleo; al igual que se toman medidas de seguridad para la producción de estos, se deben tomar medidas de seguridad para la implementación de estos nuevos sistemas en base a hidrógeno, considerando especialmente la forma de almacenamiento.
- El Ecuador debido a su ubicación geográfica recibe una de las radiaciones anuales más altas a nivel mundial, lo que es ventajoso para implementar sistemas que produzcan hidrógeno en base a este tipo de energías.
- El objetivo de la economía del hidrógeno a largo plazo es poder conferir la seguridad energética, junto con los beneficios económicos y ambientales, resolviendo problemas envueltos con la síntesis de hidrógeno, el almacenamiento, distribución y utilización en todos los sectores de la economía de la energía y transporte incluidos.

- El Ecuador tiene la capacidad de transformar su matriz energética constituida por combustibles fósiles a fuentes renovables y limpias, en especial en sectores que se han impulsado como el de la energía eólica que actualmente representa el segundo menor costo unitario de generación de electricidad y en el caso de la generación de energía solar su costo unitario ha disminuido considerablemente, esto combinado a la tecnología del hidrógeno, puede transformar la calidad de vida de la comunidad, certificando un “Buen vivir” con sistemas sostenibles. Además el gobierno en su constitución y en sus leyes en general, promueve el uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, e incluso concede tarifas preferenciales para la generación eléctrica a partir de recursos renovables. Por lo que se debe tomar en cuenta varios aspectos económicos, ambientales y sociales para la transición a una estrategia energética sostenible.
- El hidrógeno es un combustible revolucionario, ya que transformará las relaciones sociales y económicas en todo el mundo, también supone una esperanza en la conquista de una economía energética sostenida. Sin embargo los mayores obstáculos para la conversión del 100% de la energía, en el Ecuador o en cualquier lugar del mundo son principalmente sociales y políticos, no tecnológicos o incluso económicos.
- En general el hidrógeno como vector energético en el Ecuador es viable socio-ambientalmente a largo plazo ya que a pesar de ser sistemas, que apoyan a la comunidad abasteciéndola de energía limpia su introducción depende mucho de decisiones políticas y por ende económicas que apoyen el cambio tecnológico de la matriz energética del país. Ya que se pudo observar que si el Ecuador se propone generar energía eléctrica mediante hidrógeno para tener resultados de generar mínimo el 30% de energía eléctrica producida a partir de hidrógeno, para el 2050 se debe comenzar de inmediato estudios más profundos del tema para poder ir implementando e introduciendo este tipo de tecnología ya que en los primeros años no existiría una generación masiva de

este tipo de energía, la misma que debe ir siendo más accesible en posteriores años.

- Investigaciones de este tipo, contribuyen al mejoramiento de la calidad de vida de los ecuatorianos porque con el desarrollo de prototipos basados en los sistemas propuestos, se puede llegar a comunidades que no dispongan de la conexión eléctrica e implantarlos localmente, dotando de servicios básicos, como la energía a esas comunidades.

5.2. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda impulsar este tipo de estudios, que traten las energías libres, nuevas, renovables, mediante análisis de ciclos de vida para cada configuración regional con el fin de tomar decisiones más acertadas, estudiando todas las opciones de generación y uso de energía.
- Se recomienda realizar la construcción de prototipos de los diferentes sistemas o métodos propuestos para la generación de hidrógeno a partir de energías renovables, analizando la eficiencia de cada uno y las medidas adecuadas para mejorar esta tecnología, cumpliendo todos los parámetros ambientales y de seguridad.
- Se recomienda apoyar e implementar en nuestro sistema educativo el desarrollo de tecnologías de generación con fuentes renovables, haciendo realidad el cambio de matriz energética de nuestro país, así como garantizar el “Buen vivir” de la comunidad.
- Se recomienda considerar en estudios posteriores un análisis económico de la viabilidad del hidrógeno como vector energético en el Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ MH, YP, Prensa Latina, (2012). Ecuador será potencia en generación eléctrica, según ministro Albornoz, http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_us_er_view&id=183362&umt=ecuador_sera_potencia_en_generacion_electrica_s_egun_ministro_albornoz.
- ✓ M.Sc Quintero Q.B, (2012). "Hidrógeno renovable: vector de energía renovable para la producción sustentable de energía eléctrica a través de celdas de combustibles", Revista VirtualPro. Procesos Industriales, ISSN 1900-6241 (122), 2.
- ✓ United Kingdom Hydrogen Association (UKHA), "Hydrogen Safety UKHA Fact Sheet Number 2", GIBC, Mulgrave Terrace, Gateshead, Tyne & Wear, NE8 1AN.
- ✓ L. Krueger, V. President, (1999), "Overview of First Solar's Module Collection and Recycling Program", Sustainable Development: First solar.
- ✓ Gho C. (2013). Impacto Ambiental y generación eléctrica, http://www.cnea.gov.ar/xxi/divulgacion/consumo/m_consumo_f12.html,
- ✓ Burbano H, (2000). Desarrollo Sostenible y Educación Ambiental. Aproximación desde la naturaleza y la sociedad, Graficolor, Pasto, Colombia, pp. 76,77,78,165.
- ✓ Brey S.J, (2009), "Hidrógeno y pilas de combustible: seguridad y sostenibilidad energética", Revista Ambiente Vol. (1), 1.
- ✓ Gutiérrez J.L, (2005), "El Hidrógeno, Combustible del Futuro", Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Vol. 99 N°1 pp. 49-165.
- ✓ National Aeronautics and Space Administration, (2005), "Safety standard for hydrogen and hydrogen systems. Guidelines for Hydrogen System Desing, Materials Selection, Operations, Storage, and Transportation", Safety and Risk Management Division, Vol. (NSS 1740.16), p. 23-24.
- ✓ Martínez, A., (2009), La Mecánica Cuántica. Espectroscopias de resonancia magnética I, <http://lamecanicacuantica.blogspot.com/2009/08/espectroscopias-de-resonanciai.html>
- ✓ Robbins S. y Glass G., (2000), "Hydrogen Gas Safety. Self-Study", Los Alamos. National Laboratory, Vol. ESH13-401-sb-8/00, pp. 5-6

- ✓ The National Hydrogen Association, Department of Energy. United Stated of America, EERE, "Hydrogen Safety", Fact Sheer Series, Vol 1, p. 1.
- ✓ Cando P.H y Quelal M.H, (2012), Construcción y adaptación de un sistema generador de gas de hidrógeno para suministrarlo a un motor de combustión interna, Tesis de pregrado, Director: Ing. Mario Granja, Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, p.p. 23,24, 26, 71.
- ✓ Américo H.P y Arnoldo V., "Hidrógeno, combustible del futuro: ¿Por qué, cómo u dónde?", Centro Atómico Bariloche, INIFTA, UNLP, Vol. 1, p.1.
- ✓ Momirlan M. y T.N. Veziroglu, (2004), "The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a cleaner planet", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 30 (2005) 795-802.
- ✓ Pasquevich D., (2004), Tecnología del hidrógeno, Petrotecnia, pp. 55,58
- ✓ Balat M., (2008), "Potential importance of hydrogen as a future solution to environmental and transportation problems", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 33 (2008) 4013-4029, pp. 4024, 4025.
- ✓ Lattin W.C. y Utgikar V.P., (2007), "Transition to hydrogen economy in the United States; A 2006 status report", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 32 (2007) 3230-3237, p. 3232.
- ✓ Bockris J.O'M., (2002), "The origin of ideas on a Hydrogen Economy and its solution to the decay of the environment", Pergamon, International Journal of Hydrogen energy 27 (2002) 731-740.
- ✓ Yoder A.L., (2007), El hidrógeno como fuente alterna de energía, Tesis de pregrado, Director: Ing. Días Jorge, Ing. Avila R, Instituto Politécnico Nacional, México D.F, México, p. 38-79.
- ✓ Chuquín V.N. y Márquez S.F., (2011), Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (zelio), Tesis de pregrado, Director: Ing. Jorge Lema, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, p. 36.
- ✓ Armijos S.G., (2012), Ingeniería preliminar de opciones de aprovechamiento de energía de fuentes renovables (no convencionales) para implementación en la ampliación del campus San Cayetano de la UTPL: Harvesting de energía en el nuevo polideportivo del campus San Cayetano de la UTPL, Tesis de pregrado, Director: Jaramillo P.J, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador, p. 18.
- ✓ SENPLADES, (2013), Objetivos para el buen vivir, <http://plan.senplades.gob.ec/politicas-y-estrategias4>.

- ✓ EG &G Services, Parson, Inc, (2000), “Fuel Cell Handbook (fifth edidtion)”, Science Applications International Corporation, Morgantown, West Virginia, pp. 1-25,1-26,1-27.
- ✓ Goltsov. V.A, Veziroglu. T.N y Goltsova L.F., (2006), “Hydrogen civilization of the future- A new conception of the IAHE”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 31 (2006)153-159.
- ✓ Dincer I. y Zamfirescu. C, (2012), “Sustainable hydrogen production options and the role of IAHE”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy, 37 (2012) 16266-16286.
- ✓ Ibrahim Dincer, (2012), “Green methods for hydrogen production”, IEA (International Energy Agency) (2011b): Deploying Renewables. Best and Future Policy Practice, OECD/IEA, Paris. 1954-1971.
- ✓ Linares J.H y Moratilla B.S, (2007), El hidrógeno y la energía, Asociación de Ingenieros del ICAI, Universidad Pontifica Comillas, Madrid, España, pp. 20.
- ✓ Muñoz V.J, 2013, La matriz energética Ecuatoriana, Universidad Nacional de Loja, Empresa Eléctrica Regional Sur S.A, Loja, Ecuador, pp. 5-30.
- ✓ IEA (International Energy Agency) (2010). World Energy Outlook 2010, OECD/IEA, Paris.
- ✓ IEA (International Energy Agency) (2011a). World Energy Outlook 2011, OECD/IEA, Paris.
- ✓ IEA (International Energy Agency) (2011b). Deploying Renewables. Best and Future Policy Practice, OECD/IEA, Paris.
- ✓ Sun Z., Liu F., Lui X., Sun B., Sun D., (2012), “Research and development of hydrogen fuelled engines in China”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 664-681.
- ✓ Sheinbaum C., Ruiz J.B., (2012), “Energy context in Latin America”, Elsevier, Energy 40 (2012) 39-46.
- ✓ Morales A.C y Sauer I.L., (2001), “Mitigation of greenhouse gas emissions originating from energy consumption by the residential sector in Ecuador”, Energy for Sustainable Development, Volumen N°3.
- ✓ Peláez S.M, Garcia P.M, Cortez L.B, Oscullo. J., Olmedo G., (2007), “Energy sector in Ecuador: Current status”, Elsevier, Energy Policy 35 (2007) 4177-4189.
- ✓ Oscullo, J., (2006), Análisis de la Aplicación de Forwards en el Mercado Eléctrico: Caso Colombiano. Perspectivas de Aplicación al Ecuador., Master's Dissertation, UASB.
- ✓ Padilla L., Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Suramérica Andes, (2013), Los subsidios a los combustibles en Ecuador costaron USD 3.405 millones en el 2012,

- <http://www.andes.info.ec/es/econom%C3%ADA/subsidios-combustibles-ecuador-costaron-usd-3405-millones-2012.html>.
- ✓ CENTRO NACIONAL DE CONTROL DE ENERGÍA (CENACE), (2013), Informe Anual 2012, CENACE, Quito.
 - ✓ REGULACIÓN No. CONELEC - 001/02. Participación de los auto-productores con sus excedentes de generación. El directorio del consejo nacional de electricidad CONELEC.
 - ✓ Nowotny J. y Veziroglu N., (2011), "Impact of hydrogen on the environment", Elsevier, Energy 36 (2011) 13218-13224.
 - ✓ Dincer I., (2012), "Green methods for hydrogen production", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 1954-1971.
 - ✓ Psicología Online, (2007), El Ambiente Organizacional. Concepto de ambiente organizacional y límites de la organización., <http://online-psicologia.blogspot.com/2007/11/el-ambiente-organizacional.html>.
 - ✓ STAG S.A, (2013), Ficha Seguridad hidrógeno, http://www.stag.es/documentos/tecnica/FICHAS_SEGURIDAD/HIDROGENO_STAG.pdf
 - ✓ Water treatment solutions. LENNTECH., (2013), Hidrógeno-H, <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/h.htm>
 - ✓ Winter, J. C.y Nitsch J. Eds (1988). Hydrogen as an Energy Carrier, Springer, Berlin.
 - ✓ Fuentes A.T, 2007, Generación Eoloeléctrica con Almacenamiento de hidrógeno, Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de México, México D.F, México, p. 40, 45
 - ✓ Salgado C.R y Acosta G.Q., 2010, Diseño y construcción de un electrolizador de corriente continua de 200 watos con energía solar e instrumentación necesaria para medir la producción de hidrógeno, Tesis de pregrado, Director: Dr. Álvaro Aguinaga B. MSc. PhD., Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, p.p 50, 51, 54.
 - ✓ Bicácová O. y Straka P., (2012), "Production of hydrogen from renewable resources and its effectiveness", Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 11563-11578.
 - ✓ Sánchez G.L y Beltrán H.M, (2009), Residuos del petróleo como parte de una transición energética. Ciclos combinados con gasificación integrada, captura y secuestro de CO₂., <http://www.economia.unam.mx/publicaciones/econinforma/pdfs/359/09guillermo.pdf>
 - ✓ Parra H.H, (2010), Perspectivas de la cogeneración con gasificación de combustibles residuales en México, Tesis de pregrado, Director: Dr. Alberto

Elizalde Baltierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F, México, p.p 123-124.

- ✓ Nassoy E, Obtención de biocarburantes por síntesis de CO e H, Director: Julio Montes Ponce de León, ICAI- Universidad Pontificia Comillas, Madrid, España, p. 80
- ✓ Norma Ecuatoriana de Construcción NEC-10, Por Decreto Ejecutivo N° 3970 (15 de Julio 1996), Energía Renovable. Sistemas de calentamiento de agua con energía solar para uso sanitario en el Ecuador, Comité Ejecutivo del Código Ecuatoriano de la Construcción, Parte 14-1, 20.
- ✓ U.S Department of Energy Hydrogen Program, Increase your H2IQ, Hydrogen Safety Tips for First Responders, www.hydrogen.energy.gov/firstresponders,
- ✓ Andrews J. y Shabani B., (2012), “Re-envisioning the role of hydrogen in a sustainable energy economy”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 1184-1203.
- ✓ Zimmer R. y Welke J., (2012), “Let’s go green with hydrogen! The general public’s perspective”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 37 (2012) 17502-17508.
- ✓ CONELEC, (2008), Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica, Corporación para la investigación energética, Quito, Ecuador, p. 49.
- ✓ Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, (2012), Atlas Eólico del Ecuador Con Fines de Generación Eléctrica, Quito –Ecuador. pp. 10, 63, 66.
- ✓ Empresa Pública Municipal de Aseo (EMAC- EP), (2012), Captación de Biogás, <http://www.emac.gob.ec/?q=node/615>.
- ✓ Constitución de la República del Ecuador, 2008.
- ✓ Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, (2006). Reformado por Decreto Ejecutivo N°. 222, publicado en el Suplemento del Registro Oficial N°59 de 9 de abril de 2007.
- ✓ Código orgánico de la producción, comercio e inversiones, (2010), publicado en el Registro Oficial Suplemento N° 351.
- ✓ Winter C.J, 2009, “Hydrogen energy – Abundant, efficient, clean: A debate over the energy- system- of-change”, Elsevier, International Journal of Hydrogen energy 34 (2009) S1-S52.
- ✓ Suárez A., (2012), Asignatura Estatal: Educación Ambiental para la Sustentabilidad en Tabasco, <http://www.armindasuarez.com/articulos/guia-del-maestro-bloque-1-educacion-ambiental-para-la-sustentabilidad-en-tabasco/>
- ✓ Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), (2012), En el 2050 seremos 23.4 millones de ecuatorianos, http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=5

41%3Aen-el-2050-seremos-234-millones-de-ecuatorianos&catid=56%3Adestacados&Itemid=3&lang=es.

- ✓ Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), (2012), INEC presenta resumen estadístico 2012,
http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=565%3Ainec-presenta-resumen-estadistico-2012&catid=56%3Adestacados&Itemid=3&lang=es
- ✓ CONELEC, (2013), Plan Maestro de Electrificación 2013-2022- Perspectiva y expansión del sistema eléctrico ecuatoriano, Quito.
- ✓ Instituto Geográfico Militar (IGM), (2013), “Geográfica Humana: Población”,
<http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/atlas-nacional-del-ecuador-2013-geografia-humana-poblacion/>.
- ✓ El Telégrafo, (2011), Revisión sanitaria fallida en botadero,
http://www.ecuadorinmediato.com/index.php?module=Noticias&func=news_us er_view&id=142129&umt=el_telegrafo_guayaquil_revision_sanitaria_fallida_en _botadero
- ✓ El Universo, (2011), Nueva polémica cabildo-Gobierno por desechos,
<http://www.eluniverso.com/2011/01/21/1/1445/nueva-polemica-cabildo-gobierno-desechos.html>.